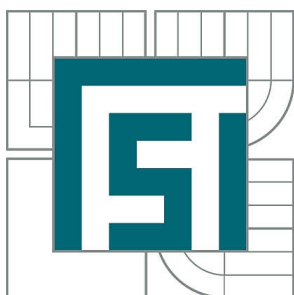


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PANTU

MANUFACTURING OF A HINGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JIŘÍ MORAVEC

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Moravec

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba pantu

v anglickém jazyce:

Manufacturing of a hinge

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby pantu dveří. Součástka je z ocelového plechu s otvorem a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání v nástroji z plechu tloušťky 2 mm. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání. Návrh technologie výroby zadané součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, návrh a volba stroje. Návrh vhodného nástroje pro výrobu zadané součásti a technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby. Závěr.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Z.; DUNCAN, J.L.; HU, S.J. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. FOREJT, M. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0294-6.
3. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: Technologie tváření – plošné a objemové tváření, 1.ed., edit.Rektorát VUT v Brně, 2003, pp.169, ISBN 80-214-2340-4
4. MIELNIK, E.M. Metal Working Science and Engineering. 1.ed. N.Y. : McGraw-Hill,Inc., 1991. 890 s. ISBN 0-07-041904-3.
5. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0401-9.
6. HOSFORD, William F.; CADDEL, Robert M. Metal Forming : Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York : Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. NOVOTNÝ, J. – LANGER,Z.: Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů; Redakce báňské a strojírenské literatury; 1. vyd. L 13–B3-IV- 41/22674; SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p.; 1980; 216 str.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

MORAVEC Jiří: Výroba pantu

Projekt předkládá návrh technologie výroby pantu z ocelového plechu 11 321 tloušťky 2 mm v sérii 300 000 kusů za rok. Z variantního řešení byla navržena výroba technologií stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Na tyto témata byla zpracována literární rešerše. Jako pracovní stroj byl zvolen výstředníkový lis LEN 40 C slovenského výrobce TOMA INDUSTRIES s.r.o., Trnava, se jmenovitou silou 400 kN. Pracovní části nástroje jsou vyrobeny z oceli 19 436. V ekonomickém hodnocení byly stanoveny náklady na výrobu jednoho kusu včetně požadovaného zisku výrobce a určen bod zvratu, který nastává po vyrobení 151 966 kusů.

Klíčová slova: stříhání, ohýbání, sdružený postupový nástroj, ocel 11 321

ABSTRACT

MORAVEC Jiří: Manufacturing of a hinge

The project presents design of technology production of the hinge made of metal sheet plate 11 321. The variant proposed solutions have been designed manufacturing cutting and bending technology in transfer combined die. These themes were elaborated in literatures studies. As a working machine was selected eccentric press LEN 40 C of Slovak producer TOMA INDUSTRIES s.r.o., Trnava, with a nominal force 400 kN. Functional parts are made of tool steel 19 436. In economic results was defined cost of one piece including manufacturers profit and the break-even point, which is coming after production of 151 966 pieces.

Keywords: shearing, bending, transfer combined die, 11 321 steel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MORAVEC Jiří: *Výroba pantu*. Brno, 2011. 62 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 27.5.2011

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1 ÚVOD	10
2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU	11
2.1 VÝROBNÍ MOŽNOSTI	12
3 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	13
3.1 NAPJATOST A DEFORMACE PŘI STŘÍHÁNÍ	14
3.2 STŘIŽNÁ SÍLA A PRÁCE	14
3.3 KVALITA STŘIŽNÉ PLOCHY	15
3.4 STŘIŽNÁ VŮLE	16
3.5 STŘIŽNÉ NÁSTROJE	18
3.5.1 Konstrukce střižníků	20
3.5.2 Konstrukce střižnic	23
3.5.3 Stanovení rozměrů pracovních částí stříhadla	24
3.5.4 Životnost stříhadel	24
3.5.5 Materiály pro střižné nástroje	25
3.6 VÝPOČET TĚŽIŠTĚ STŘIŽNÝCH SIL	27
3.7 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTÍ	28
4 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	32
4.1 NAPJATOST A DEFORMACE PŘI OHYBU	32
4.2 POLOHA NEUTRÁLNÍ PLOCHY	33
4.3 STANOVENÍ VÝCHOZÍHO POLOTOVARU	35
4.4 MINIMÁLNÍ A MAXIMÁLNÍ POLOMĚR OHYBU	35
4.5 ODPRUŽENÍ PŘI OHYBU	36
4.6 OHÝBACÍ SÍLA A OHÝBACÍ PRÁCE	39
4.7 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE OHÝBANÝCH SOUČÁSTÍ	40
4.8 NÁSTROJE PRO OHÝBÁNÍ NA LISECH	41
4.8.1 Funkční části ohýbadel	43
4.8.2 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí	43
5 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI	45
5.1 ROZMÍSTĚNÍ VÝSTŘIŽKŮ V NÁSTŘIHOVÉM PLÁNU	46
5.2 VOLBA POSTUPU VÝROBY	47
5.3 ROZMĚRY NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU.....	48
5.4 VOLBA POLOTOVARU	49
5.5 VÝPOČTY STŘIŽNÉ ČÁSTI NÁSTROJE	51
5.6 VÝPOČET OHÝBACÍ ČÁSTI NÁSTROJE	52
5.7 POLOHA STOPKY	53
5.8 VOLBA STROJE	55
5.9 POPIS NÁSTROJE	56
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	58
8 ZÁVĚRY	62
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam výkresů	

1 ÚVOD [9], [6], [26], [16], [28], [5]

Strojírenská technologie je vědním oborem, který se zabývá zkoumáním technických zákonitostí výrobního procesu. Zahrnuje celou řadu výrobních postupů slévání, tváření, svařování a pájení, obrábění, tepelné zpracování, povrchové úpravy a montáže.

Na celosvětové produkci strojních a spojovacích součástí z kovů a slitin se významně podílejí technologie tváření a obrábění. Především tyto technologie splňují požadavky na velmi přesné součásti strojů a přístrojů v dopravní technice, ve vojenské i spotřební technice a energetice.

Tvářením se rozumí proces, při kterém jsou polotovary z železných i neželezných kovů plasticky deformovány nástroji s cílem dosáhnout požadovaného tvaru dílce (výkovku, výlisku, protlačku atd.), u kterých se zpravidla dosáhne lepších konečných mechanicko-fyzikálních vlastností. Tvářecí procesy se dělí dvěma zásadními způsoby a to na tváření objemové a na tváření plošné. Každý proces tváření je doprovázen třením, které ovlivňuje tok materiálu. Při objemovém tváření dojde k výrazné změně tvaru a zvětšení plochy původního polotovaru převážně za tepla nebo poloohřevu. Objemové tváření zahrnuje například technologie kování, válcování, protlačování atd. Při plošném tváření je plech tvarován do požadovaného tvaru plošného i prostorového, přičemž dojde jen k nepatrné nebo žádné změně tloušťky plechu. Mezi plošné tváření patří technologie stříhání, ohýbání, tažení, tlacení atd.

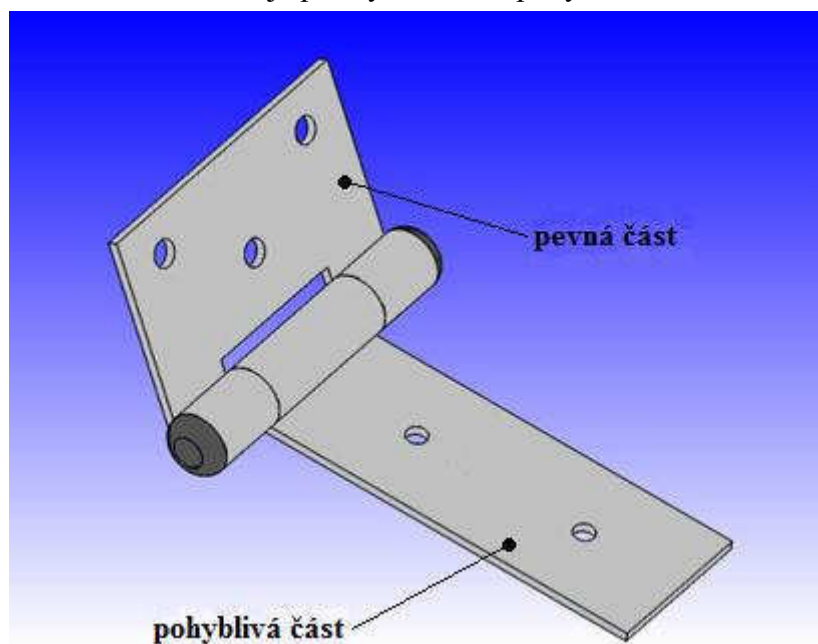
Na obr. 1 jsou znázorněny příklady dílců vyrobených technologií tváření.



Obr. 1 Součásti vyrobené technologií tváření [26], [16], [28], [5],

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU [29], [10], [20], [17]

Součástí, jejíž technologie výroby bude navržena v této práci, je pant (obr. 2), skládající se ze dvou částí, které jsou k sobě otočně spojeny zalisovaným čepem. Součást je vyrobena z plechu tloušťky 2 mm. Je v ní vystřiženo pět otvorů – tři z nich jsou průměru 6 mm pro připevnění k pevné části a zbylé dva mají průměr 5 mm pro připevnění k pohyblivé části. Délka součásti v rozevřeném stavu je 115 mm, její šířka v nejširším místě pak 70 mm. Na součást nejsou kladeny žádné zvýšené nároky na geometrickou přesnost ani na jakost povrchu. Velikost výrobní série je 300 000 ks. Po vyrobení bude součást žárově zinkována. V této práci bude řešena konstrukce nástroje pro výrobu pevné části, přičemž bude brána v úvahu možnost modifikace nástroje pro výrobu části pohyblivé.



Obr. 2 Vyráběná součást

Materiálem pro výrobu je ocel 11 321. Jedná se o konstrukční nelegovanou ocel se zaručenou čistotou, zaručeným obsahem fosforu a síry, zaručenou minimální pevností v tahu, mezí kluzu a tažností. Obvykle se dodává ve formě tyčí, různých profilů, plechů trubek nebo pásů. Je vhodná k tváření (válcování) za studena, k středně hlubokému tažení, lakování, pokovování v tavenině, potisku a smaltování. Svařitelnost je zaručena v závislosti na rozměrech polotovaru. Základní mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tab. 2.1.

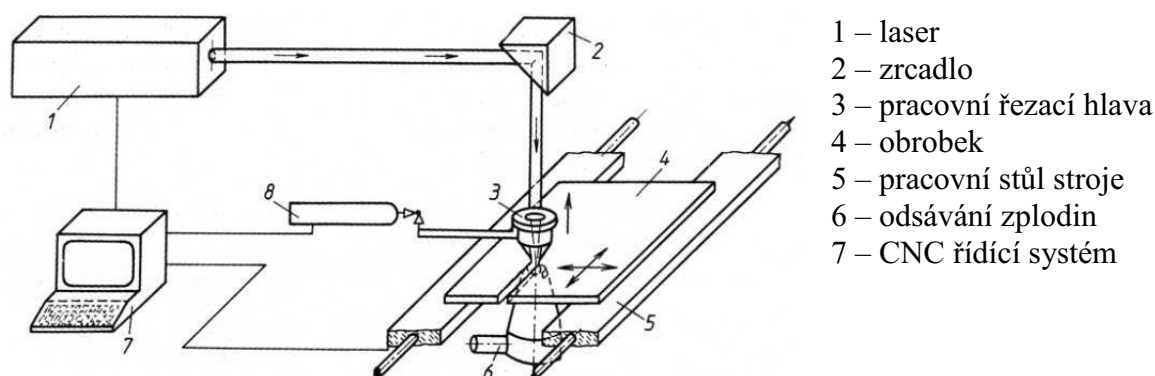
Tab. 2.1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 321 [20], [17]

Mechanické vlastnosti	Ocel 11 321	
	Mez kluzu Re [MPa]	280
	Mez pevnosti Rm max. [MPa]	270 - 410
	Tažnost A ₈₀ min. [%]	28
Chemické složení	Obsah uhlíku C – max. [%]	0,1
	Obsah manganu Mn – max. [%]	0,45
	Obsah fosforu P – max. [%]	0,03
	Obsah síry S – max. [%]	0,03

2.1 Výrobní možnosti [23]

Pro výrobu zadané součásti je nejprve nutné zvolit vhodnou technologii. Vzhledem k tvaru a rozměrům dílce se zde nabízí řada možností výroby:

- Výroba rozvinutého tvaru dílce pomocí nekonvenční metody dělení materiálu například řezání laserem (obr 2.1), plazmou nebo vodním paprskem a následné ohnutí v ohýbadle. Mezi výhody této metody lze zařadit vysokou rychlost řezání a snadnou možnost opakovatelnosti řezného procesu. Nevýhodou je nutnost manipulace vyřezaných dílců z řezného nástroje do ohýbadla. Tato metoda by byla vhodná spíše pro zákazníka, který již vlastní některý z výše uvedených strojů (laser, plazmu, vodní paprsek), jelikož pořizovací náklady těchto zařízení jsou nemalé a zřejmě by nemělo velký význam je pořizovat pouze z důvodu výroby součásti jednoho typu.



Obr. 2.1 Schéma zařízení pro řezání laserem [23]

- Výroba rozvinutého tvaru dílce pomocí stříhání, následné ohnutí a zakroužení do požadovaného tvaru. Touto variantou lze poměrně rychle a efektivně vyrábět velké množství kusů. Jako nevýhodu tohoto postupu lze považovat nutnost přesunu polotovaru ze stříhadla do ohýbadla, čímž vzrostou vedlejší časy.
- Výroba ve sdruženém postupovém nástroji, kde bude v první operaci probíhat vystřížení polotovaru z pásu plechu a v následné operaci dojde k ohnutí a zakroužení vyráběné součásti. Tato varianta je vhodná pro výrobu součásti ve velkých sériích. Odpadá zde vedlejší čas nutný na přesun polotovaru ze stříhadla do ohýbadla. Nevýhodou této metody je vysoká pořizovací cena postupového nástroje.

Vzhledem k výše uvedeným faktům se jako nejvhodnější postup výroby jeví výroba ve sdruženém postupovém nástroji, kde dochází na jednom stroji jak ke stříhu, tak i k ohybu. Tím se eliminují vedlejší časy, které by byly nevyhnutelné u prvních dvou metod. Vysoká pořizovací cena nástroje bude v tomto případě kompenzována velikostí výrobní série a produktivitou nástroje.

3 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [9], [19], [24], [7]

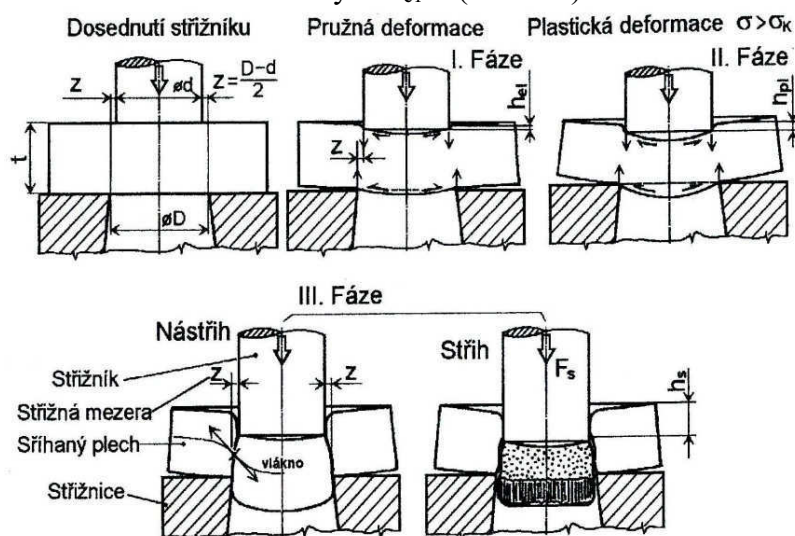
Stříhání je jedna z nejčastěji používaných operací ve strojírenské výrobě. Používá se při přípravě polotovarů, na vystřihování hotových výstřižků, nebo jako pomocná operace při výrobě výrobků.

Při stříhání se působí na materiál vhodně upravenými noži tak, aby se materiál ustříhl v určité ploše. Pro dosažení kvalitního stříhu – bez ostřin – je nutno zachovat určité podmínky, to je ostří nožů, vůli mezi noži atd., což klade určité požadavky na obsluhu a údržbu stroje. Různými konstrukčními úpravami střížného nástroje a zvláště volbou způsobu stříhání je možné ovlivnit průběh operace stříhání tak, aby se zabránilo nekvalitní střížné ploše se širokým pásmem utržení a deformace výstřižku.

Mezi základní operace stříhání patří:

- děrování
- ostřihování
- vystřihování
- přestřihování
- nastřihování
- přistřihování
- přesné vystřihování
- přetrhávání a vysekávání

Proces stříhání má tři základní fáze (obr. 3.1). V první fázi po dosednutí střížníku dochází k pružnému vnikání do povrchu stříhaného materiálu. Hloubka vniku závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá $h_{e1} = (5 \text{ až } 8\%) t$.



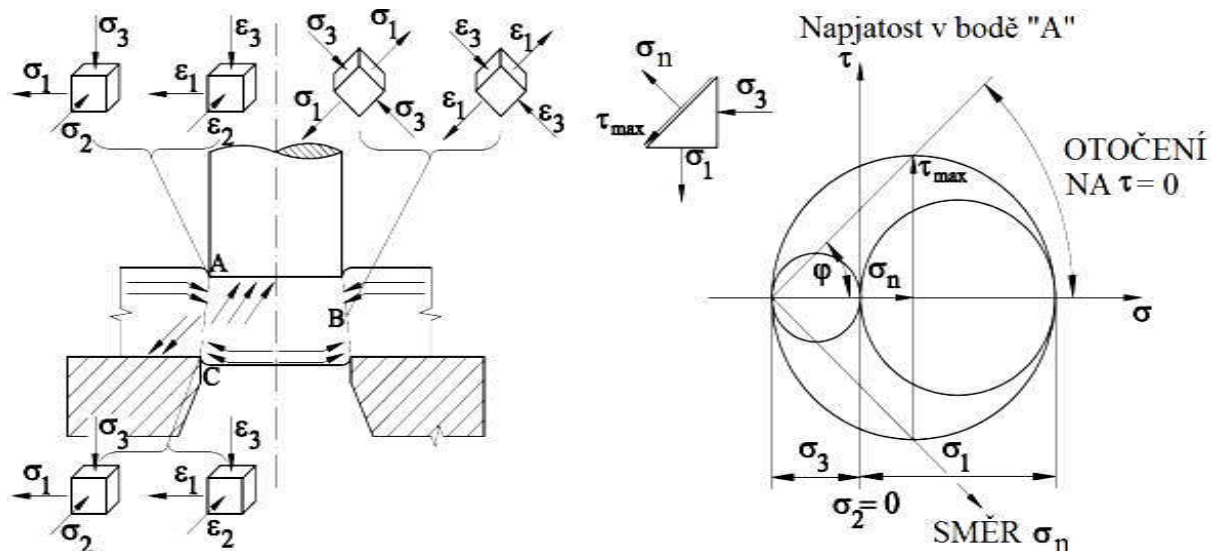
Obr. 3.1 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [9]

normálovým napětím ve směru vláken. Trhliny se rychle šíří, až dojde k oddělení výstřižku. Rychlost vzniku a postupu trhlin je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vůle $v = 2z$. Tvrdý a křehký materiál se oddělí rychle při malém vniknutí střížných hran $h_s \approx 0,1t$. U měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku trhlín-nástřihu a jejich šíření pomalu a hloubka vniknutí střížných hran v okamžiku oddělení bývá až $h_s \approx 0,6t$. Při stříhání s normální vůlí se trhliny po nástřihu šíří tak, že v okamžiku stříhu se setkají.

Dvojice sil mezi hranami střížníku a střížnice způsobuje nežádoucí ohyb. Ve druhé fázi je napětí ve směru vnikání větší, než je mez kluzu kovu a dochází k trvalé plastické deformaci. Podle druhu kovu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí $h_{pl} = (10 \text{ až } 25\%) t$. Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu τ_s . Nejdříve vznikne tzv. nástřih, tj. vytvoření trhlinek, které je podporováno tahovým

3.1 Napjatost a deformace při stříhání [9], [2]

Stav napětí a deformace při stříhání je charakterizován mechanickými schématy deformace na obr. 3.2. V oblasti „A“ pod plochou střížníku vzniká nestejnorodá prostorová napjatost se dvěma napětími tlakovými a jedním tahovým. Příslušná deformace odpovídající této napjatosti je rovněž prostorová a nestejnorodá. Největší tahové napětí „ σ_1 “ je rovno mezi pevnosti materiálu ve stříhu $\sigma_1 = \tau_s = 0,77 R_m$. Tlakové napětí „ σ_3 “ je dle praktických zkoušek rovno přibližně polovině „ σ_1 “. Při volném stříhání plechů větších tloušťek je tlakové napětí „ σ_2 “ rovno nule a lze uvažovat přibližně rovinný stav napjatosti. Ale vzhledem k tomu, že složka deviátoru napětí a střední napětí jsou nenulové, je v bodě „A“ prostorový stav deformace. Z vektorového součtu uvažovaných složek hlavních napětí v bodě „A“ a z Mohrových kružnic napětí je vidět, že kolmo na rovinu maximálního smykového napětí působí kladná normální složka „ σ_n “, která se při šíření trhlin po nástřihu podílí na jejich rozevírání. Vlivem změny orientace křivosti vrstevnic plechu směrem od střížné hrany do středu dochází i ke změně orientace a natáčení roviny „ τ_{\max} “ a tím vzniká typická střížná plocha tvaru „S“. Poměr hlavních napětí „ σ_1 “ a „ σ_3 “ se směrem do středu střížné plochy mění a právě uprostřed v bodě „B“ dojde ke splnění podmínek prostého smyku, kde $\sigma_1 = |\sigma_3|$ a $\sigma_2 = 0$. V bodě „C“ nad střížnicí vznikají opět nestejnorodé prostorové napjatosti a deformace stejně jako v bodě „A“.

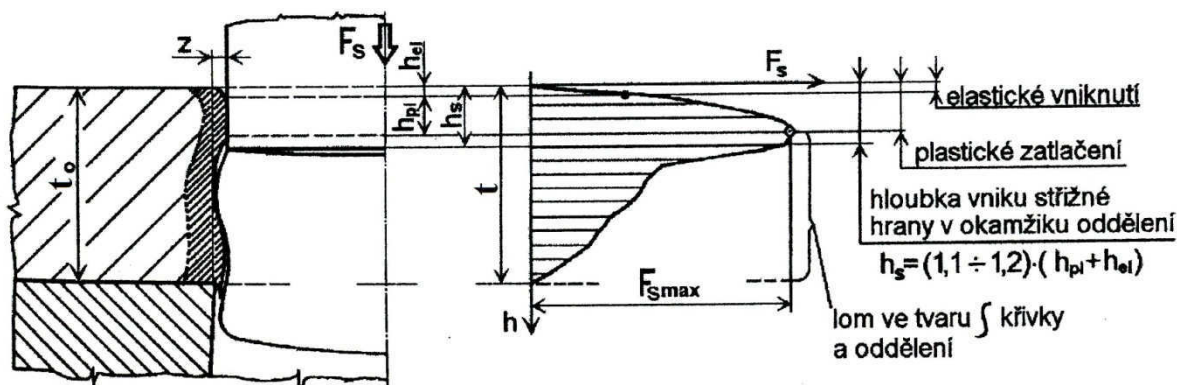


Obr. 3.2 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání [9], [2]

3.2 Střížná síla a práce [9], [19]

Při stříhání paralelními noži roste střížná síla až do určitého maxima. V okamžiku, kdy vznikne ve stříhaném materiálu trhlina, začne střížná síla klesat. V okamžiku, kdy se materiál oddělí v celé ploše, klesne síla na nulu.

Charakteristický průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí střížníku je na obr. 3.3. Po krátké dráze elastického vniknutí bříty dochází k plastické deformaci. I když se střížná plocha zmenšuje, dochází vlivem lokálního zpevnění k plynulému nárůstu síly. Po vzniku prvních trhlin nastává ještě mírný a plynulý pokles síly až do hloubky vniknutí h_s , kdy dojde k úplnému porušení lomem ve tvaru „S“ křivky a následnému oddělování výstřížku s výrazným poklesem síly.



Obr. 3.3 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly [9]

Pro střížnou sílu při děrování a vystřihování je možno napsat vztah (3.1):

$$F_s = n \cdot L \cdot (t - h_s) \cdot \tau_s = (1,0 \div 1,3)(t - h_s) \cdot L \cdot 0,77 \cdot R_m \quad (3.1)$$

kde: F_s – střížná síla [N]

L – je délka křivky stříhu [mm]

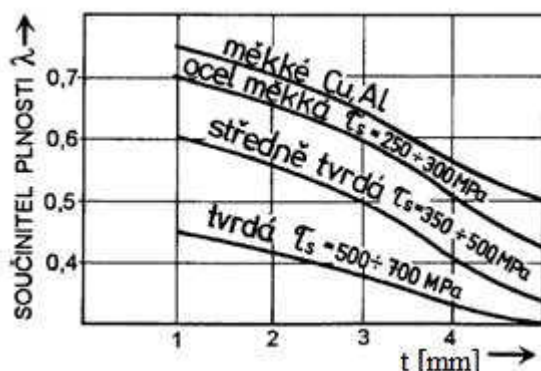
h_s – je hloubka vniknutí [mm]

$n = (1,0 \text{ až } 1,3)$ je zvyšující koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání, tj. nerovnoměrnost tloušťky plechu, nerovnoměrnost napjatosti a především zhoršení kvality střížných hran [-]

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Vztah (3.1) lze použít pro geometrické poměry děrování do poměru $d/s = 1$, tzn., že průměr střížníku je roven tloušťce materiálu. Pro poměry $d/s < 1$, kdy tloušťka materiálu je větší než průměr střížníku, napětí ve stříhu výrazně vzroste.

Střížná práce při stříhu rovnoběžnými střížnými hranami je dána plochou pod křivkou střížné síly viz obr. 3.3 a vypočítá se dle vztahu (3.2). Součinitel plnosti λ diagramu $F-s$ je pro některé materiály určen grafem na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Graf ke stanovení součinitele plnitosti [9]

$$A = \lambda \cdot F_{s \max} \cdot t \quad (3.2)$$

kde: A – střížná práce [J]

$F_{s \max}$ – maximální střížná síla [N]

λ – součinitel plnosti diagramu (obr. 3.4) [-]

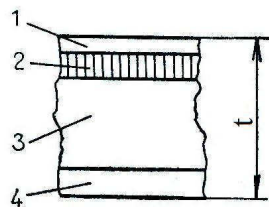
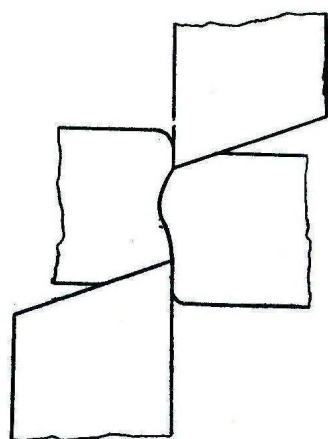
3.3 Kvalita střížné plochy [19], [4]

Při běžném způsobu stříhání plechu se nedosáhne zvláštní kvality stříhu. Materiál výstřížku je kolem čáry stříhu zpevněn. Při vystřihování se obvykle dosáhne drsnosti $R_a = 3,2$ až $6,3$ a při ostříhování a děrování $R_a = 2,5$ až $6,3$.

Přesnost a kvalita povrchu závisí na:

- vlastnostech stříhaného materiálu,
- velikosti střížné mezery,
- druhu a stavu nástroje,
- charakteru geometrického tvaru stříhaného vzorce,
- kvalitě povrchu a přesnosti činných částí střížníku a střížnice.

Střižná plocha je tvořena obecně čtyřmi plochami (obr. 3.5). U ocelového plechu 11 370.11 tloušťky $t = 20,6$ mm bylo naměřeno:



část 1	6 % t
část 2	10% t
část 3	80% t
část 4	4% t

- 1 – zaoblení vstupní hrany plechu;
- 2 – zatlačení nože do vzniku trhliny;
- 3 – vlastní střižná plocha;
- 4 – zatlačení spodního nože

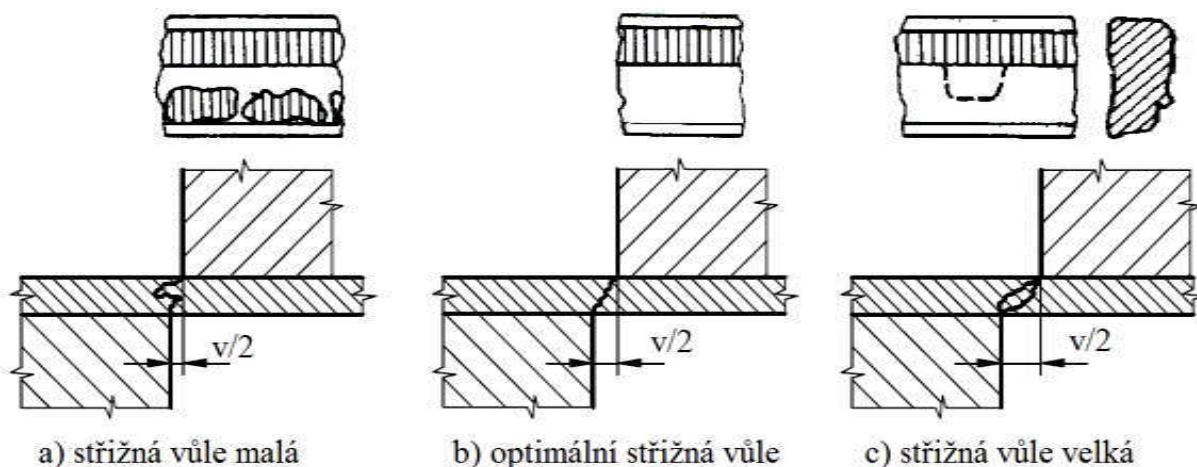
Obr. 3.5 Kvalita střižné plochy [19]

Část 3 tvoří u běžného stříhu 80% procent a proto je pro posouzení kvality střižné plochy charakteristická.

Trhliny prostupují od břitů obou nožů. Setkají se uprostřed děleného materiálu a vytvoří střižnou plochu. Nemusí se však setkat vždy přesně svými čely. Pak vznikne tříska, nebo se na povrchu střižné plochy vytvoří zátrh. Třísky se shromažďují pod místem stříhu a mohou působit obtíže např. při přesném děrování, když se dostanou mezi pohybující se části nástroje. Jestliže je stříhaný materiál anizotropní, mohou vzniknout další smykové trhliny v místě zvýšeného obsahu vměstků.

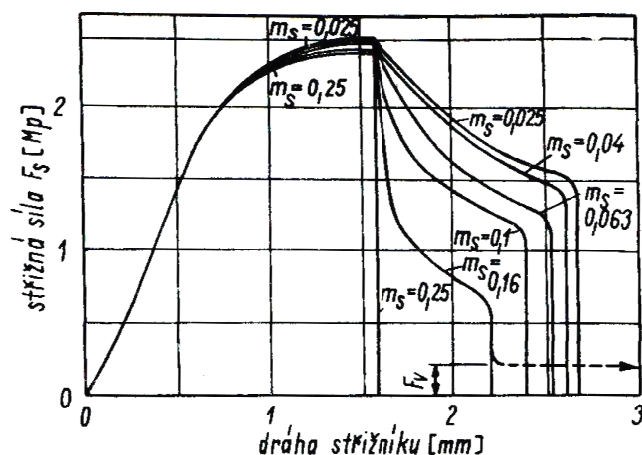
3.4 Střižná vůle [19], [4], [2]

Střižná vůle je rozdíl mezi rozměrem střižníku a střižnice. Velikost střižné vůle má velký význam zejména pro trvanlivost stříhadla. Při stříhání se vyrobí střižník s menším rozměrem než je odpovídající otvor ve střižnici. To znamená, že střižník vniká do střižnice s vůlí na každé straně. Rozdílem mezi rozměrem střižnice a střižníku je určena střižná vůle. Jednostranný rozdíl vytváří střižnou mezeru. Její velikost má být rovnoměrná ve všech místech křivky stříhu. Správně volená velikost střižné vůle zaručuje, že trhliny, které při stříhání vzniknou, se setkají. Tím je zaručeno správné usmýknutí stříhané plochy, jak je znázorněno na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Tvar střižné plochy pro různé střižné vůle [4]

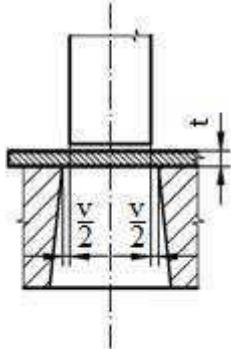
Střížná vůle má také vliv na střížnou sílu, trvanlivost břitů, kvalitu střížných ploch a na vznik ostřin i spotřebu energie. Zmenšování střížné vůle se zvětšuje střížná síla jen nepatrně. Střížná práce je až o 40% větší. Na obr. 3.7 je znázorněn pracovními diagramy vliv různě velkých střížných mezer $m_s = v/2$ na velikost střížné síly a střížné práce, kde střížná práce je vyjádřena jako velikostí plochy pod příslušnou křivkou diagramu.



Obr. 3.7 Závislost střížné síly na velikosti střížné mezery [2]

tab. 3.1. Nástroje s velkou životností se vyrobí s malou střížnou vůlí. Opatřením nástroje se střížná vůle zvětšuje.

Tab. 3.1 Velikost střížné vůle [4]

	Druh materiálu	Střížná vůle (% t)	
		do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
	Ocel měkká	5	7 až 8
	Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
	Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10
	Hliník	4 až 7	5 až 9
	Dural	7 až 8	7 až 10
	Měď měkká	4 až 5	5 až 6
	Měď polotvrdá a tvrdá	6 až 7	6 až 7
	Mosaz měkká	4 až 5	4 až 6
	Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 až 6	5 až 7

Výpočtem se stanoví střížná vůle podle Oehlera. Pro plech do 3 mm se střížná mezera určí dle vztahu (3.3) a pro plech nad 3 mm dle vztahu (3.4).

$$m_s = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k_s} \quad (3.3)$$

$$m_s = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{k_s} \quad (3.4)$$

kde: $c = (0,005 \text{ až } 0,025)$ – součinitel závislý na stupni stříhu [-]

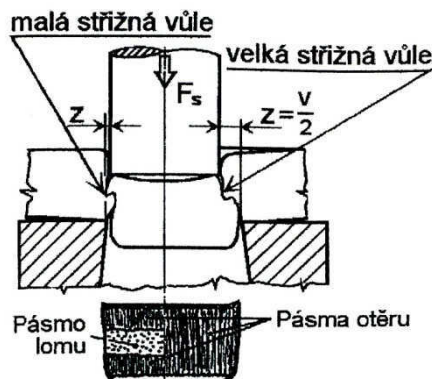
k_s – střížný odpor [MPa]

m_s – střížná mezera [mm]

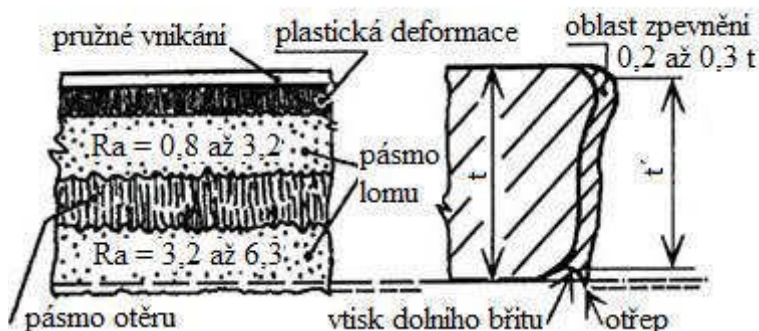
v – střížná vůle [mm]

Pro dosažení kvalitnějšího povrchu se volí nižší hodnoty součinitele „c“. Optimální velikost střížné vůle se volí individuálně vzhledem k funkci střížného nástroje. Při otupených nebo zaoblených břitech musí být větší. Vlivem velkých střížných vůlí dochází k ohybu stříhané součásti. Je-li vůle příliš malá, vznikají na střížné ploše přestřížené, ohlazené prstence.

Na obr. 3.8 je schematicky znázorněn nástřih při malé i příliš velké střížné vůli, jejichž důsledkem je rozšíření pásma otěru na větší část střížné plochy. Vzhled střížné plochy znázorňuje obrázek 3.9.



Obr. 3.8 Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli [9]



Obr. 3.9 Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli [9]

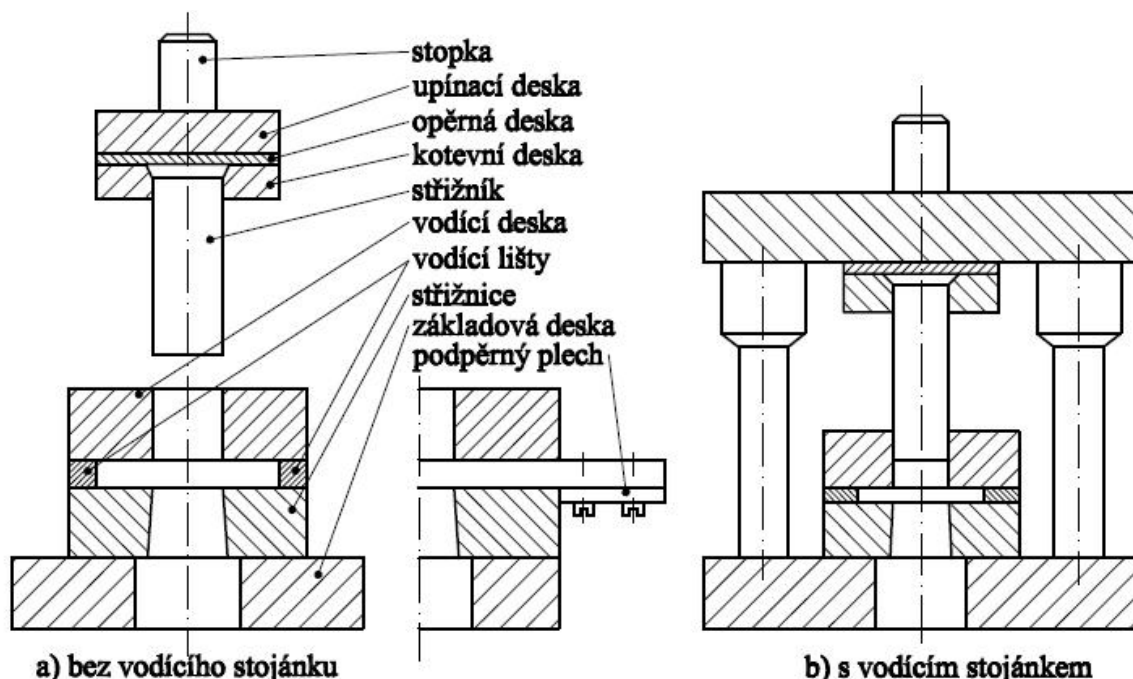
3.5 Střížné nástroje [15], [4], [12], [18]

Proces stříhání lze realizovat různými střížnými nástroji. Základní střížné operace (např. dělení pásů plechu) se provádí na tabulových nůžkách, kde jako funkční části nástroje slouží stříhací lišty. U pásových, okružních nebo křivkových nůžek se jako funkční části používají kotoučové nože. Pro větší výrobní série je vhodné použít nástroje pro stříhání na lisech – tzv. stříhadla, kterým je věnována následující část této kapitoly. V některých případech lze využít tzv. stříhání nepevným nástrojem, kde za pomoci polyuretanu nebo pryže vyvodíme tlak přímo na stříhaný materiál, který je uložený na ocelové desce, která má shodný tvar s tvarem výstřížku.

Stříhadla jsou nástroje, kde funkci horního pohyblivého nože vykonává střížník a funkci dolního pevného nože střížnice. Mají obvykle velkou životnost, ale pro malé série nejsou takové nástroje nejvhodnější, protože náklady na jejich výrobu jsou vysoké. Z konstrukčního hlediska lze střížné nástroje rozdělit do dvou hlavních skupin.

První skupinou jsou nástroje bez vedení, které je možné používat pro děrování, popř. ostříhování součástí vyráběných v malých sériích a ze silnějších plechů. Přesnost vedení zde zajišťuje vedení lisu, což je vzhledem k velikosti střížné vůle u tenkých plechů a k vůli v kinematickém schématu lisu problematické. Nejjednodušší nástroj je takový, kde jak střížník, tak střížnice jsou celistvé.

Druhou skupinou jsou nástroje s vedením, které jsou výhodnější z hlediska přesnosti výstřížků. Vedením je zajištěna střížná vůle v nástroji, rovnoměrnost stříhu, popř. i vyrovnání klopných momentů v nástroji od střížných sil. Podle požadavku na přesnost vedení se používají v zásadě dva typy vedení – vedení vodící deskou a vedení vodící sloupky, buď s kluzným, nebo s valivým vedením. Schéma jednoduchého jednooperačního střížného nástroje ve variantách bez vodícího stojánu a s vodícím stojánkem je znázorněno na obr. 3.10.



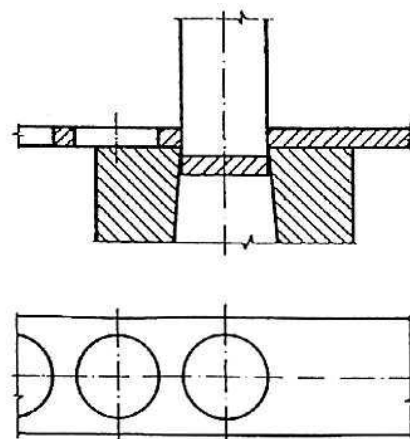
Obr. 3.10 Schéma jednoduchého stříhadla [18]

Vodící stojánky, stejně jako střížné skříně a upínací hlavice jsou normalizovány. To je výhodné hlavně ve výrobě nástrojů, kde jde především o úspory strojních i ručních prací. Dosáhne se maximální přesnosti při menších nákladech, zvýší se životnost nástrojů i operativnost výroby.

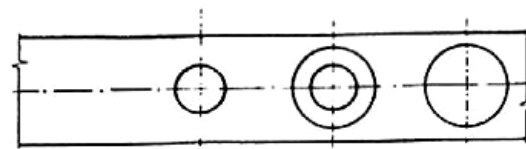
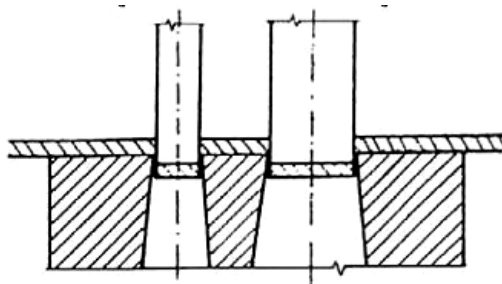
Podle počtu operací prováděných na jeden zdvih lisu lze stříhadla rozdělit na jednoduchá, postupová, sloučená a sdružená.

Jednoduchá stříhadla jsou konstrukčně nejjednodušší. Během jednoho zdvihu lze docházet pouze k jedné střížné operaci, která se provádí opakovaně při každém zdvihu lisu. Příklad takového stříhadla je znázorněn na obr. 3.11.

U postupových stříhadel, jak již název napovídá, dochází k výrobě součásti postupně v několika krocích. U postupového stříhadla, které je znázorněno na obr. 3.12 dochází v prvním kroku k děrování a v dalším kroku k vystřížení samotné součásti.

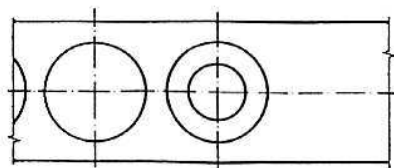
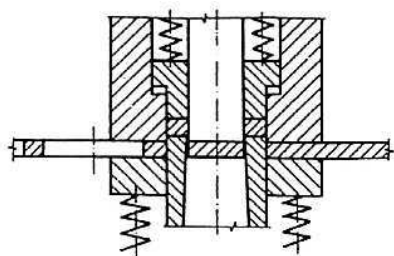


Obr. 3.11 Jednoduché stříhadlo [24]

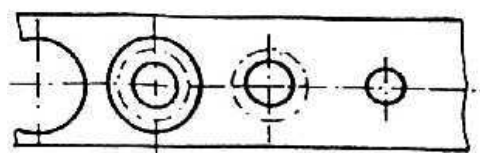
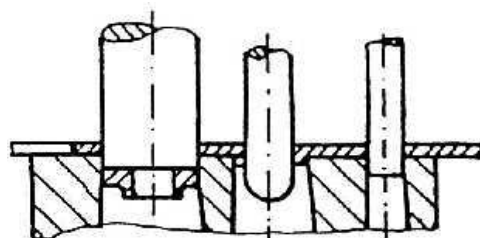


Obr. 3.12 Postupové stříhadlo [24]

Sloučená stříhadla se používají pro provádění několika střížných operací na jediném nástroji. Od postupových střížných nástrojů se liší tím, že je zde více střížných operací prováděno na jeden krok. Na obr. 3.13 je znázorněno sloučené stříhadlo, kde při jednom zdvihu beranu lisu dojde nejprve k děrování otvoru a poté k vystřížení obrysu tvaru součásti.



Obr. 3.13 Sloučené stříhadlo [24]



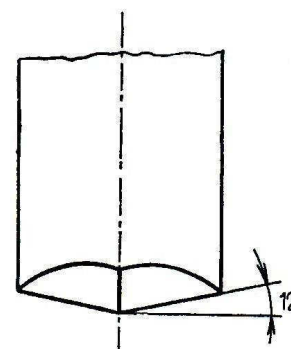
Obr. 3.14 Postupové sdružené stříhadlo [24]

Nejsložitějším typem nástrojů s vedením jsou nástroje postupové sdružené, které zajišťují nejen stříhání, ale i tvarování, ohýbání, stříhání obvodu, tažení apod. Příklad takového nástroje je znázorněn na obr. 3.14. Ke stříhu a dalším potřebným technologickým operacím zde dochází postupně v několika krocích.

3.5.1 Konstrukce střížníků [19], [18]

Střížníky jsou činnou částí střížného nástroje. Je možno je rozdělit podle tvaru jejich průřezu na kruhové, obdélníkové, čtvercové, tvarové, atd. Tyto střížníky mají bříty (čelo) obvykle kolmé k ose střížníku. Malé střížníky jsou vyráběny z jednoho kusu, u větších rozměrů lze nosnou část vyrobit z konstrukční oceli a jen funkční část z oceli nástrojové. Funkční břitová část se k nosné části přichytí pomocí šroubů, vždy však musí být středěna pomocí středícího průměru. Jejich výroba a ostření je jednoduché, mají dobré střížné vlastnosti a slouží k velké části střížných operací.

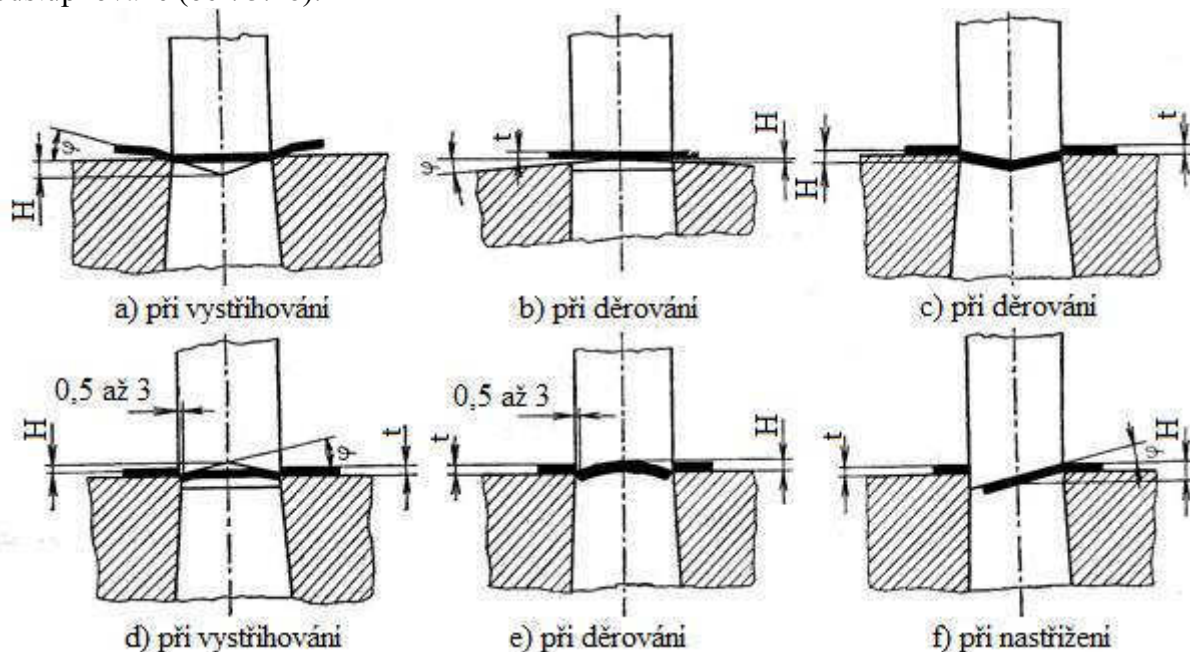
Zkosené střížníky se používají pro snížení velikosti střížné síly. Zkosení na střížníku se obvykle používá při děrování, aby se výrobek nezdeformoval, a aby se deformace způsobená zkosením nástroje projevila na odpadu. Příklad zkoseného střížníku je na obr. 3.15. Výhodou je lepší středění nástroje – střížník se zatlačí břitkem do materiálu a nemůže po něm klouzat. Další možné úpravy střížníků jsou znázorněny na obr. 3.16.



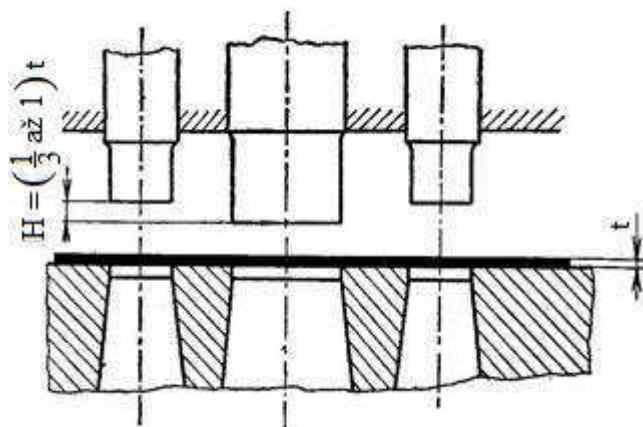
Obr. 3.15 Úprava střížníku [19]

Snížení střížné síly v závislosti H_s je uvedeno na obr. 3.17. Jsou doporučovány úhly zkosení pro plech $t < 3 \text{ mm}$ $\varphi = 5^\circ$ a pro $t > 3 \text{ mm}$ $\varphi = 5 \text{ až } 8^\circ$, což přinese zmenšení střížné

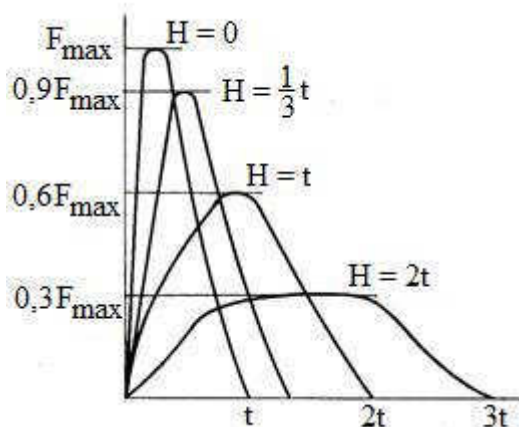
síly téměř na polovinu střížné síly nutné u nástrojů paralelních. Při děrování či vystřihování více otvorů nebo součástí na jeden zdvih lisu je možné použít nástroje uspořádané odstupňovaně (obr. 3.18).



Obr. 3.16 Úprava střížníků [19]



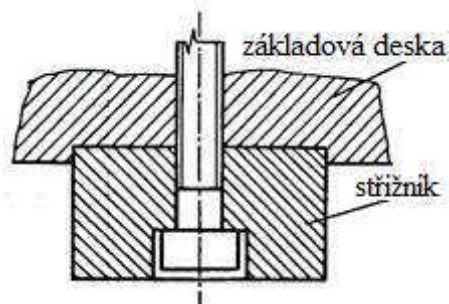
Obr. 3.18 Odstupňování střížníků [19]



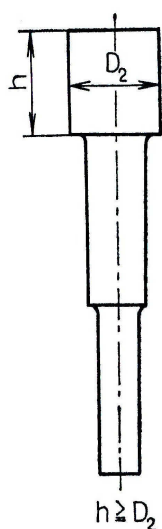
Obr. 3.17 Závislost střížné síly na úpravě střížníku [19]

Při upínání střížníků je základním požadavkem tuhost střížníku, kolmost upevnění a taková pevnost připojení, aby byl eliminován účinek stíracích sil působících na střížník a také sil bočních, které vzniknou např. nepřesným seřazením nástroje, otupením nástroje, vlivem sousedních střížníků atd.

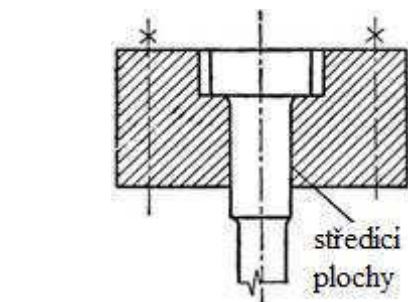
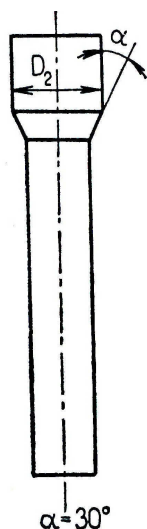
Velké střížníky mohou být uchyceny k základové desce přímo šrouby (obr. 3.19). Střížníky střední velikosti se vyrábějí s upínací hlavou kuželovou nebo válcovou (obr. 3.20). Válcová hlava se upíná příložkou (obr. 3.21), kuželová hlava se střeďí a upíná v kuželové části (obr. 3.22).



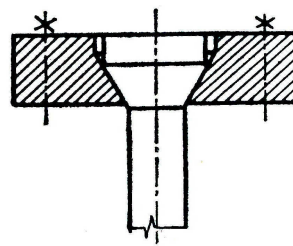
Obr. 3.19 Upínání velkých střížníků [19]



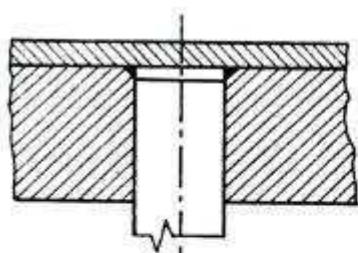
Obr. 3.20 Tvary upínací části střižníku [19]



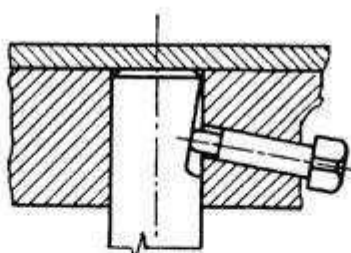
Obr. 3.21 Upínání střižníku s válcovou hlavou [19]



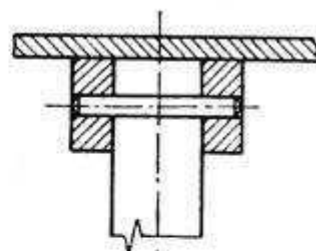
Obr. 3.22 Upínání střižníků s kuželovou hlavou [19]



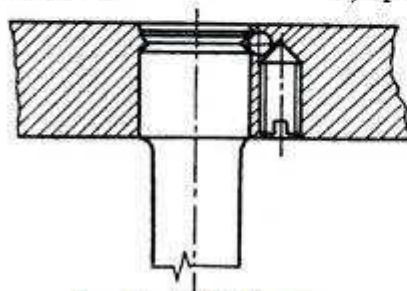
a) roznýtování



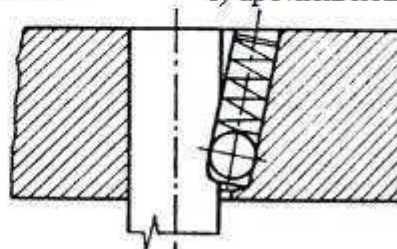
b) upevnění šroubem



c) upevnění kolíkem



d) upevnění kolíkem



e) upevnění kuličkou

Obr. 3.23 Upínání malých střižníků [19]

Malé střižníky se vyrábějí bez příruby a jsou uchyceny např. roznýtováním, kuličkou a pružinou, zality dentakrylem či lehce tavitelným kovem, nebo také upevněny pojišťovacím šroubem (obr. 3.23).

Střižníky běžného provedení mají délku poměrně malou, a proto lze počítat jejich dovolené namáhání v tlaku ze vztahu:

$$\sigma_{\text{dov}} = \frac{F_{s \text{ max}}}{S} \quad (3.5)$$

kde: $F_{s \text{ max}}$ – je maximální hodnota střižné síly [N]

S – plocha průřezu střižníku [mm²]

σ_{dov} – dovolené napětí v tahu [MPa]

Jsou-li z různých důvodů délky střížníků větší, provádí se pevnostní výpočet na tzv. kritickou délku pro dané uspořádání nástroje. Je-li volná délka nástroje větší než kritická, musí se konstrukce nástroje upravit tak, aby byl střížník veden a jeho volná délka byla pod kritickou hodnotou.

Za předpokladu, že se jedná o tyč namáhanou na vzpěr na jednom konci uloženou v kloubu a na druhém vetknutou, potom kritická délka:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_{stř}}} \quad (3.6)$$

kde: E – je modul pružnosti [MPa]

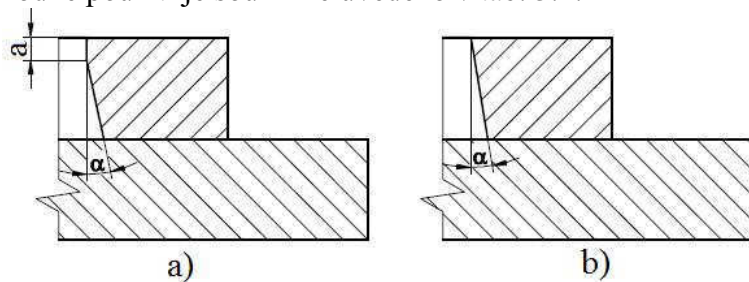
I – kvadratický moment [mm⁴]

μ – součinitel bezpečnosti ($\mu = 1,5$ až 2) [-]

3.5.2 Konstrukce střížnic [18], [12], [19]

Střížnice je činnou částí střížných nástrojů, upevněnou přímo nebo nepřímo na základové desce. Zhotovují se buď z jednoho kusu nástrojové oceli jako tzv. celistvé, nebo jsou zhotoveny z konstrukční oceli a na funkčních místech jsou opatřeny vložkami z nástrojové oceli, které jsou do střížnice zalisovány, tzv. vložkované střížnice. Střížnice pro větší výstřižky jsou buď vykované z nástrojové oceli, nebo se skládají ze segmentů, které se buď zalisují do měkké nekalené střížnice anebo připevní na základovou desku šrouby a pojistí kolíky. Takovýmto střížnicím se říká střížnice skládané.

Provedení řezných hran závisí na požadované přesnosti, tvaru a velikosti výstřižku a na tloušťce stříhaného materiálu. Pro výstřižky s menšími dovolenými úchytkami malého, průměru, nebo nepravidelného tvaru a z tenkých plechů je výhodnější střížnice s fazetkou (obr. 3.24a). Pro výlisky s většími přípustnými úchytkami na vnějším průměru a z tlustšího materiálu se celý pracovní otvor rozšiřuje pod úhlem α (obr. 3.24b). Tvar střížné hrany a jeho vhodné použití je souhrnně uvedeno v tab. 3.2.



Například se volí:

pro $t = 2$ mm $\alpha = 30'$

pro $t = 2 \div 3$ mm $\alpha = 45' \div 1^\circ$

pro $t > 3$ mm $\alpha = 1^\circ \div 2^\circ$

šířka fazetky $a = 2 \div 5$ mm

Obr. 3.24 Tvar střížnice [18]

Tab. 3.2 Tvar střížné hrany [12]

Konický	Pro stříhání malých součástí střední přesnosti úhel roste od $10'$ (pro tl. 0,1 mm) do 1° (pro tl. 6 mm)
Konický s fazetkou	Pro přesné tvarově složité součásti Šířka fazetky je od 3 mm (pro tl. $< 0,5$ mm) do 15 mm (pro tl. = 10 mm) Úhel úkosu je 3 až 5°
Válcový	Pro střížnice při použití vyhazovače a pro přesné stříhání s nátlakovou hranou

3.5.3 Stanovení rozměrů pracovních částí stříhadla [18], [19]

Při stanovení rozměrů pracovních částí stříhadla je jedna jeho část – buď střížník nebo střížnice – vzata jako základní. Rozměry této pracovní části stříhadla se konstruují v soulasu se jmenovitými rozměry a příslušnými tolerancemi vystřihovaného polotovaru. Rozměry druhé pracovní části stříhadla se konstruují s přihlédnutím k technologickým střížným vůlím.

Při oddělování materiálu se obě činné části nástroje opotřebovávají. Střížník se zmenšuje a střížnice se naopak zvětšuje. Při vystřihování obrysu jsou rozměry výstřižků závislé na rozměru střížnice a její opotřebení má bezprostřední vliv na rozměry součásti. Zmenšení střížníku se zřetelem na jeho opotřebení nemá podstatný vliv na rozměry výstřižku. Proto je účelné větší část tolerance součásti přenést na střížnici jako přídavek. Jmenovitý rozměr střížnice lze pak získat ze vztahu:

$$D_S = D - P_u + P_s \quad (3.7)$$

kde: D_S – jmenovitý rozměr střížnice při vystřihování [mm]

D – jmenovitý rozměr výstřižku [mm]

P_u – dovolená úchylka výrobku [mm]

P_s – výrobní tolerance střížnice [mm]

Pro přesné výstřižky třídy IT 6 až IT 9 se do vzorce 3.7 dosadí plná hodnota P_u . Pro méně přesné výrobky třídy IT 11 až IT 16 se použije hodnota pouze 0,8 P_u . Rozměry střížníku při vystřihování se získají ze vztahu:

$$d_k = D_S - v_{\min} - P_k \quad (3.8)$$

kde: d_k – jmenovitý rozměr střížníku při vystřihování [mm]

v_{\min} – minimální střížná vůle [mm]

P_k – výrobní tolerance střížníku [mm]

Při děrování jsou naopak rozměry výstřižku závislé na rozměru střížníku a jeho opotřebení nejvíce ovlivňuje konečný rozměr součásti. Velikost střížníku se určí ze vztahu:

$$d_{kd} = d + P_u - P_k \quad (3.9)$$

kde: d_{kd} – jmenovitý rozměr střížníku při děrování [mm]

d – jmenovitý rozměr děrovaného otvoru [mm]

Rozměr střížnice při děrování se pak dopočítá ze vztahu:

$$D_{sd} = d_{kd} + v_{\min} + P_s \quad (3.10)$$

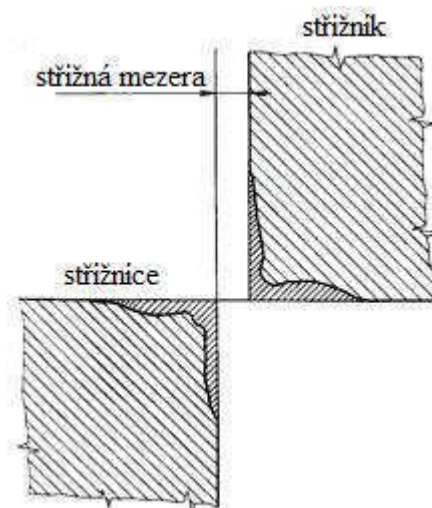
kde: D_{sd} – jmenovitý rozměr střížnice při děrování [mm]

3.5.4 Životnost stříhadel [4]

Životnost stříhadla z hlediska provozu se posuzuje podle počtu vyrobených výstřižků v požadovaných rozměrech a kvalitě. Nástroj je již úplně opotřebován, jestliže jeho činné části nejdou naostřit ani opravit. Životnost nástroje ovlivňují tyto činitelé:

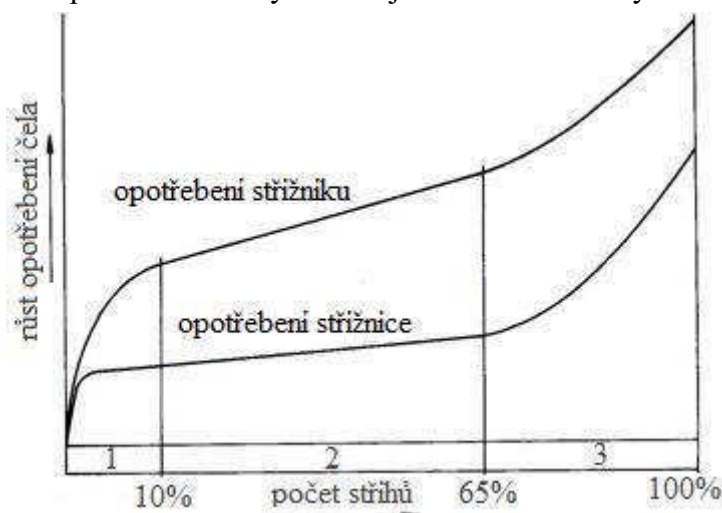
- a) tvar a velikost výstřižku
- b) druh a kvalita nástroje
- c) zatížení a stav lisu
- d) péče o nástroj – jeho ustavení a seřízení na lisu
- e) zpracovaný materiál – druh a vlastnosti

Před opotřebením nástroje začínají mít výstřížky špatnou kvalitu. Opotřebení nástroje je způsobeno úbytkem materiálu z činných ploch střížníku a střížnice. To se projeví otěrem boku činné plochy v šikmém směru, nebo žlábkovitým vymíláním čela. Opotřebení boku činných ploch nástroje je charakterizováno nepravidelnou kuželovou plochou. Oba základní typy opotřebení se v praxi vyskytují ve smíšené formě. Tvar opotřebených ploch ukazuje obr. 3.25.



Obr. 3.25 Tvar opotřebených střížných ploch [4]

Velikost opotřebení neroste lineárně, ale má obecný průběh, jak je zřejmé z obr. 3.26. U obou křivek jsou charakteristická tři pásma, v kterých se výrazně odlišuje strmost křivky. V průběhu 1. pásma se na začátku stříhání rychle opotřebují ostré břity nástroje. Ve 2. pásmu probíhá opotřebování pomaleji, protože se zvětšily střížné plochy a poklesl tlak na jednotku plochy. Rychlé opotřebení ve 3. pásmu je způsobeno změnou procesu deformace na střížné hraně. Při větším otupení střížných hran vzrůstá střížná síla vlivem většího stupně tváření materiálu a zvyšujícího se zpevnění a odporu tření. Obvykle se zvětšuje i střížná vůle, která však snižuje velikost střížné síly. Výsledkem zvýšeného opotřebení střížných částí je vzrůst střížné síly.



Obr. 3.26 Křivka růstu opotřebení [4]

3.5.5 Materiály pro střížné nástroje [4], [2]

Při výrobě střížných nástrojů lze používané materiály rozdělit do dvou hlavních skupin podle toho, zda se z nich vyrábějí činné části nástrojů, které přicházejí přímo do styku se zpracovávaným materiálem, nebo části konstrukční, jejichž úkolem je zajištění funkce nástroje.

Pro výrobu činných částí lisovacích nástrojů se nejvíce používá nástrojových ocelí v tepelně zpracovaném stavu, jehož účelem je dát nástrojům požadované vlastnosti, kterých má být při jejich použití racionálně využito. Mimo nástrojové oceli lze pro zhotovení funkčních částí použít i rychlořezných ocelí, slinutých karbidů a pro malé série i jiných kovů. Přehled ocelí pro různé typy nástrojů při rozdílném provozu je v tab. 3.3.

Tab. 3.3 Přehled nástrojových ocelí pro různé typy nástrojů [4]

Typ oceli	Značení podle ČSN	Vhodnost použití
ledeburitické, subledeburitické	19 436, 19 437, 19 438, 19 571, 19 572, 19 581	Na stříhadla s malým nárokem na houževnatost a dobrými střižnými podmínkami
nízkolegované	19 312, 19 713, 19 422, 14 200	Vyznačují se velkou rozměrovou stálostí, vhodné pro střižníky
pro velké tlaky	19 655, 19 614, 19 662	Pro stříhadla vystavená velkým střižným silám a vylamování břitů
odolné proti rázu	19 356, 19 421	Oceli odolné proti velkým rázům
uhlíkové oceli	19 221, 19 191, 19 222, 19 192, 19 152, 19 132	Pro málo namáhaná stříhadla a střižníky

Pro výrobu nefunkčních částí nástroje se nejčastěji volí konstrukčních ocelí, které jsou v porovnání s nástrojovými levnější a lépe obrobitelné. V praxi se ustálilo používání několika typů, které se většinou hodí na výrobu základových desek, stojánků, přidržovačů a vodících a upínacích součástí. Jejich přehled a vhodnost použití jsou uvedeny v tab. 3.4. Méně namáhané součásti hlavně u velkých nástrojů dovolují použití různých litin. Nahrazením oceli litinou lze dosáhnout úspor hmotnosti a snížení kapacity třískového obrábění. Proto je použití litiny ekonomicky výhodné. Přehled nejvhodnějších litin pro použití na nástroje uvádí tab. 3.5.

Tab. 3.4 Konstrukční oceli používané při výrobě nástrojů [4]

Ocel		Vhodnost použití
Typ	Označení dle ČSN	
neušlechtilé	11 107, 11 110	Na drobné součásti nástrojů
	11 340, 11 370	Pro méně namáhané součásti, opěrné desky
	11 373, 11 375, 11 353, 11 423, 11 523	Pro svařování konstrukčních dílů nástrojů
	11 500, 11 600	Pro klíny, pera, upínací a kotevní desky
zušlechťovatelné	12 060, 12 061	Stírače, upínací hlavice, stopky, opěrné vložky
	12 040, 12 090, 13 180, 14 180	Šroubové, talířové, listové pružiny
	14 260, 15 260	Talířové, nejnamáhavější pružinové součásti
	42 6450.2	Pružiny
oceli cementační	12 010, 12 020	Součásti vodícího mechanismu, sloupky, pouzdra
	14 120, 14 220	Součásti s velmi tvrdou cementační vrstvou
oceli na odlitky	42 2640, 42 2650	Pro rozměrnější desky a jiné součásti nástrojů

Tab. 3.5 Přehled litin používaných na nástroje a jejich vlastnosti [4]

Litina		Vhodnost použití
Typ	Označení dle ČSN	
šedá	42 2430	Značně namáhané součásti tlustších stěn
	42 2425	Značně namáhané součásti, stojánky
očkovaná	42 2456	Pro součásti, kde jsou vyžadovány dobré kluzné vlastnosti, ložiska
tvárná	42 2304, 42 2305	Po vyšší tlaky a namáhání
	42 2303	Pro dynamicky namáhané desky, vyšší tlaky

3.6 Výpočet těžiště střížných sil [19]

Při stříhání na lisu několika střížníky musí výslednice střížných sil působit v ose lisu. V případě, že by síla působila mimo osu, byl by beran zatížen značným klopným momentem, což by mělo za následek menší přesnost výrobků, snížení životnosti nástroje i předčasným opotřebením beranu lisu. Působíště výslednice střížných sil nazýváme těžištěm a jeho polohu můžeme stanovit výpočtem nebo graficky.

Počtení metoda (obr. 3.27) vychází z podmínky rovnováhy sil, tj. že součet momentů ke zvolené přímce (nejčastěji používáme hlavní osy x, y) je roven nule (3.11):

$$F_x \cdot X = F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c \quad (3.11)$$

Protože tloušťka i mechanické vlastnosti materiálu jsou pro určitý výstřížek stejné, bude velikost střížných sil přímo úměrná obvodu děrovaného otvoru. Z rovnice (3.11) lze potom získat vztah pro polohu těžiště v ose „ x “ (3.12) a obdobným způsobem i polohu těžiště v ose „ y “ (3.13).

$$X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c}{F_x} = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c}{F_1 + F_2 + F_3} \quad (3.12)$$

$$Y = \frac{F'_1 \cdot a_1 + F'_2 \cdot b_1 + F'_3 \cdot c_1}{F_y} = \frac{F'_1 \cdot a_1 + F'_2 \cdot b_1 + F'_3 \cdot c_1}{F'_1 + F'_2 + F'_3} \quad (3.13)$$

kde: X – je vzdálenost těžiště střížných sil od osy „ y “ [mm]

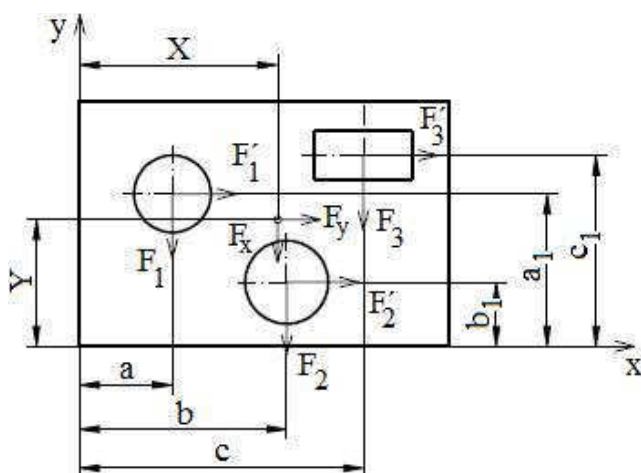
Y – je vzdálenost těžiště střížných sil od osy „ x “ [mm]

a, b, c – vzdálenosti těžišť střížných sil F_1, F_2, F_3 od osy „ y “ [mm]

a_1, b_1, c_1 – vzdálenosti těžišť střížných sil F'_1, F'_2, F'_3 od osy „ x “ [mm]

$F_1, F_2, F_3, F'_1, F'_2, F'_3$ – střížné síly od jednotlivých střížníků [N]

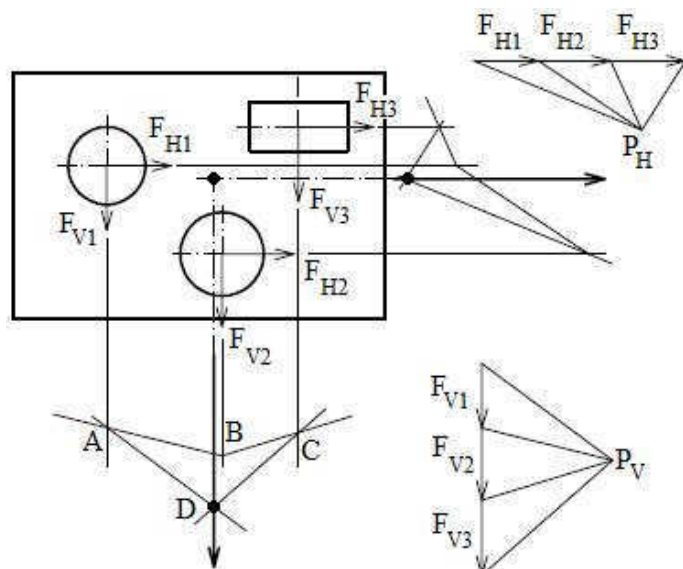
F_x, F_y – celková střížná síla v ose x, y [N]



Obr. 3.27 Výpočet těžiště střížných sil – počteně [19]

Při grafickém (obr. 3.28) řešení postupujeme tak, že si na obrázku půdorysu nástroje v těžištích působících střížných sil nanese v měřítku v závislosti na délce obvodu velikosti střížných sil v horizontálním směru „ F_{1V} “, „ F_{2V} “, „ F_{3V} “. Zvolíme si vhodně libovolný bod tzv. pól „ P_v “ a libovolnou svislou přímkou vedle bodu „ P_v “, na kterou v měřítku nanese síly „ F_{1V} “, „ F_{2V} “, „ F_{3V} “. Spojením začátků a konců nanesených sil s pólem „ P_v “ dostaneme tzv. pólový obrazec. Směry působících střížných sil prodloužíme pod obrázek nástroje. Na nositelce síly „ F_{1V} “ zvolíme libovolný bod „ A “ a tímto bodem vedeme rovnoběžku s čarou pólového obrazce, která spojuje pól „ P_v “ s koncovým bodem síly „ F_{1V} “. Tato rovnoběžka protne nositelku „ F_{2V} “ v bodě „ B “. Tímto bodem opět vedeme rovnoběžku s čarou spojující pól „ P_v “ s koncem síly „ F_{2V} “ v pólovém obraze, až protne nositelku síly „ F_{3V} “ v bodě „ C “. Za předpokladu, že by působících sil bylo víc, opakovali bychom tento postup dále až k poslední síle. Bodem „ C “ proložíme rovnoběžku se spojnicí pólu „ P_v “ s koncem síly „ F_{3V} “ v pólovém obraze a bodem „ A “ rovnoběžku se spojnicí pólu „ P_v “ se začátkem síly „ F_{1V} “ v pólovém obraze. Získáme tak průsečík „ D “, kterým prochází hledaná výslednice ve směru vertikálním.

Tento postup provedeme obdobně pro směr horizontální a získáme tak výslednici ve směru horizontálním. Průsečík obou výslednic je pak hledané těžiště – působíště výslednice střížných sil.



Obr. 3.28 Výpočet těžiště střížných sil – graficky [19]

3.7 Technologičnost součástí [4], [2], [22]

Stříhaný díl a technologický postup jeho výroby má být navrhován tak, aby bylo možné jej zhotovit jednoduchými nástroji, při malých nákladech a v co nejkratší možné době. Přitom ale musíme dodržet všechny technické a provozní požadavky na něj kladené. Největší vliv na technologičnost výroby součásti má konstruktér hned při jejím návrhu. Přes velkou tvarovou a funkční rozmanitost strojních součástí je třeba podřídit součást nejen funkční a technickým požadavkům, ale také racionální konstrukci a výrobě jak nástroje, tak i samotné součásti. Výsledným ukazatelem dobré technologičnosti jsou nejnížší náklady na materiál, nástroj i výrobu.

Technologičnost konstrukce výstřížků se řídí určitými pravidly:

- Vnější tvar má být účelný, hezký, výrobně jednoduchý, spotřeba materiálu malá.
- Větší přesnost se vyžaduje u těch rozměrů, které:
 - ovlivňují funkci,
 - navazují na další součást,
 - mají zvláštní funkci (technologickou apod.)
- Materiál má být dobře zpracovatelný, dostupný a laciný, s dobrými vlastnostmi a dobrou kvalitou povrchu.
- Konstrukce součástí je také ovlivněna požadovaným počtem vyráběných součástí.

Technologičnosti konstrukce výstřížků se dosáhne respektováním některých nedokonalostí procesu stříhání, mezi které patří:

- drsnot střížné plochy, jež vzniká z větší části lomem materiálu,
- malé zešíkmení střížné plochy vlivem mezery mezi břity, jež se opotřebením stříhadla zvětšuje,
- zeslabením tloušťky plechu podél střížné plochy,
- zpevněním materiálu do hloubky $(0,1 \div 0,2) t$
- odchyly v rozměrech výstřížků způsobené výrobou a hlavně opotřebením stříhadla,
- prohnutí některých výstřížků ohybovým momentem obou složek střížné síly.

Z toho vyplývají následující zásady, jejichž dodržování umožní plynulou a ekonomickou výrobu výstřižků:

- a) nezmenšovat tolerance vnějších rozměrů, otvorů a jejich roztečí, které udává tab. 3.6,

Tab. 3.6 Přesnost roztečí děrovaných otvorů [mm] [4]

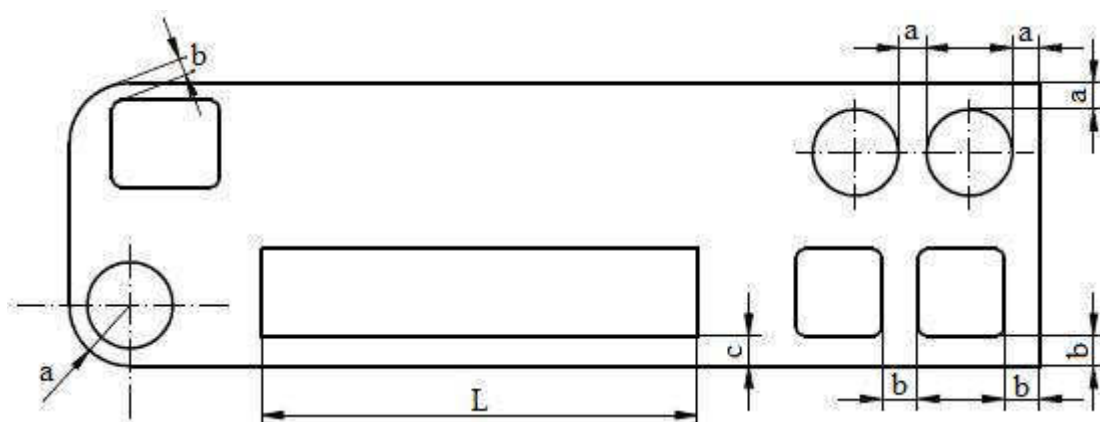
Tloušťka děrovaného plechu [mm]	Rozteč otvorů [mm]					
	do 50		50 až 150		150 až 300	
do 1	0,10	0,03	0,15	0,05	0,20	0,08
1 až 2	0,12	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10
2 až 4	0,15	0,06	0,25	0,08	0,35	0,12
4 až 6	0,20	0,08	0,30	0,10	0,40	0,15

- b) dát přednost kruhovým otvorům před nekruhovými,
c) nepředepisovat drsnost a kolmost střížné plochy,
d) u úzkých kroužků a podložek předepisovat jen nezbytnou rovinnost,
e) volit minimální velikost otvorů v závislosti na tloušťce a druhu materiálu a konstrukci a typu stříhadla, podle tab. 3.7,

Tab. 3.7 Nejmenší průměry děrovaných otvorů [4]

A – průměr kruhového otvoru		B – šířka obdélníkového otvoru.		
Rozměry jsou dány jako násobky tloušťky stříhaného plechu t				
Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střížníkem s přidržovačem	
	A	B	A	B
tvrdý papír	0,4	0,3	0,3	0,25
texgumoid, pertinax	0,4	0,35	0,3	0,25
hliník	0,8	0,6	0,3	0,25
měkká ocel	1,0	0,8	0,35	0,3
mosaz, měď	1,0	0,8	0,35	0,3
tvrdá ocel	1,5	1,2	0,5	0,4

- f) pro vzdálenost otvorů od kraje výstřižku, nebo mezi otvory (obr. 3.29) používat doporučené hodnoty dle tab. 3.8,



Obr. 3.29 Vzdálenost otvorů od okraje výstřižku a mezi otvory [4]

- g) nejmenší šířka štíhlých výstřižků, nebo šířka vyčnívajících částí nemá být menší než 1,5 tloušťky plechu,

- h) nepoužívat ostré tvary v rozích vnitřního obrysu, min. poloměr zaoblení $r = 0,5$ tloušťky plechu,
- i) volit obrys výstřižku tak, aby bylo využito materiálu co největší (kruhový obrys není výhodný – ztráta materiálu činí asi 30%),
- j) nejvhodnější z hlediska využití materiálu je tvar rovnoběžníka nebo rovnoramenného trojúhelníka, jehož jedna strana je negativem druhé.

Tab. 3.8 Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od kraje výstřižku (dle obr. 11) [4]

Tloušťka plechu [mm]	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Rozměr c [mm]			
			Pro šířku otvoru L [mm]			
			5 až 50	50 až 100	100 až 200	nad 200
do 1	1,5	2,5	3	8	13	20
1 až 1,6	2,4	3,2	4,5	8	13	20
1,6 až 2	3	4	6	10	14	25
2 až 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 až 3,2	4,8	5	8	13	20	28
3,2 až 4	6	6	9	13	20	28
4 až 5	7	8	10	16	22	32

Úspora materiálu patří při stříhání mezi základní hlediska technologičnosti výroby. Pro malý počet vyráběných dílců nemá tak velký význam, ale s rostoucí sériovostí nabývá na důležitosti a při velkosériové výrobě má větší význam než ostatní zdroje úspor.

Nejhospodárnější využití plechu jako výchozího materiálu je ve formě svitků. Proti tabulím při stejném využití znamená snížení nákladů na materiál o 5 až 6 %. Pokud lisovna není zařízení na zpracování svitků, je nutné použít plechových tabulí a rozstříhávat je. V tomto případě je nutné zabývat se více nástřihový plánem, aby využití plechu bylo co největší. Šířka pásu nebo plechu se volí co nejmenší, ale jen do takového rozměru, aby bylo možné ještě vyrobit kvalitní výstřižek. Tolerance tloušťky plechu pro stříhání není důležitá.

Hospodárnost využití materiálu se hodnotí pomocí tzv. součinitele využití materiálu, který se určí ze vztahu:

$$k_c = \frac{S_s \cdot n_{\text{SOU}}}{L_p \cdot B} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.14)$$

kde: n_{SOU} – skutečný počet součástí vyrobených z pruhu [-]

k_c – celkový součinitel využití materiálu [-]

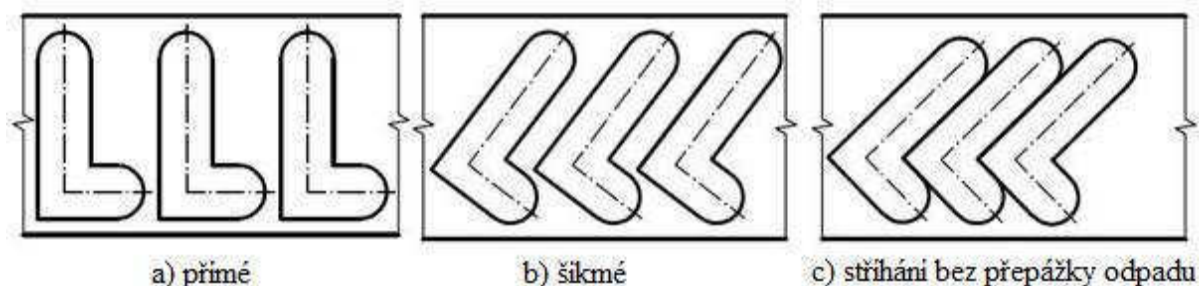
S_s – plocha součástí bez otvorů [mm²]

L_p – délka pruhu nebo pásu včetně koncových odpadů [mm]

B – šířka pruhu nebo pásu [mm]

Pro úsporu materiálu má hlavní význam technologický odpad, který je závislý na způsobu nástřihu. Snahou je umisťovat výstřižky na pás plechu tak, aby využití materiálu bylo co největší. Různé možnosti rozmístění součástí na pás plechu je znázorněno na obr. 3.30.

Hospodárnost nástřihu závisí do značné míry na správné velikosti můstků. Můstky musí být dostatečně pevné a tuhé, aby dobře snášely namáhání při podávání materiálu. Velikost můstků závisí na tloušťce a tvrdosti materiálu, rozměrech a tvaru výlisku, způsobu podávání pásu, typu dorazu atd. Doporučené hodnoty můstků v závislosti na tloušťce plechu a šířce pásu jsou uvedeny v tab. 3.9.



Obr. 3.30 Rozmístění výstřižků na pás plechu [22]

Tab. 3.9 Stanovení šíře odpadu u výstřižků [4]

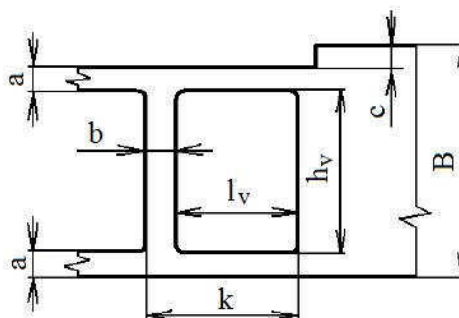
Tloušťka materiálu [mm]	Šířka pásu [mm]						Šířka pásu [mm]					
	do 15		15 ÷ 50		50 ÷ 100		do 15		15 ÷ 50		50 ÷ 100	
	Rozměr a, b [mm]						Rozměr a, b [mm]					
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3

Při postupovém stříhání je nutné určit tzv. krok, což je vzdálenost, o kterou se materiál posune mezi jednotlivými střížnými operacemi. Velikost kroku „k“ se určí na základě obr. 3.31 dle vztahu:

$$k = l_v + b \quad [\text{mm}] \quad (3.15)$$

kde: l_v – délka výstřižku [mm]
 b – šířka přepážky [mm]

Správná velikost kroku je zajištěna buď pomocí dorazů, nebo pomocí bočního posuvového nože, který odstřihuje materiál v délce odpovídající kroku. Druhá varianta není příliš vhodná, neboť při ní dochází k větším ztrátám materiálu. Šířka okraje potřebná pro činnost bočního nože je uvedena v tab. 3.10.

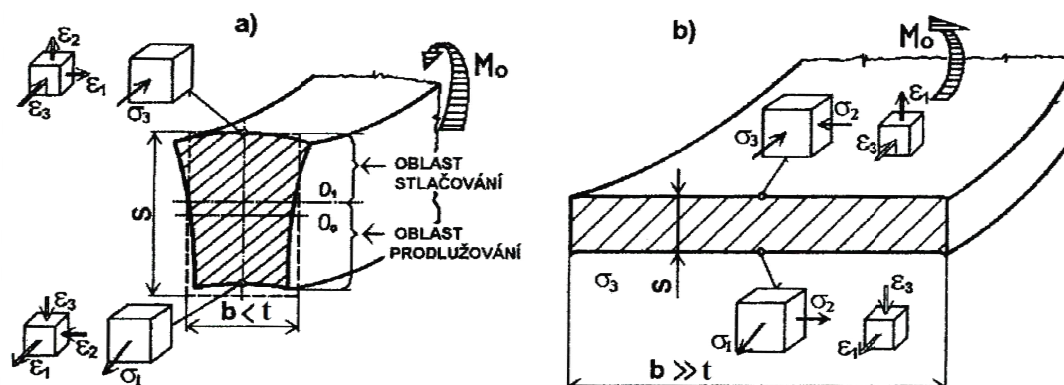


Obr. 3.31 Nástřihový plán [22]

Tab. 3.10 Šířka okraje stříhaného bočním nožem [22]

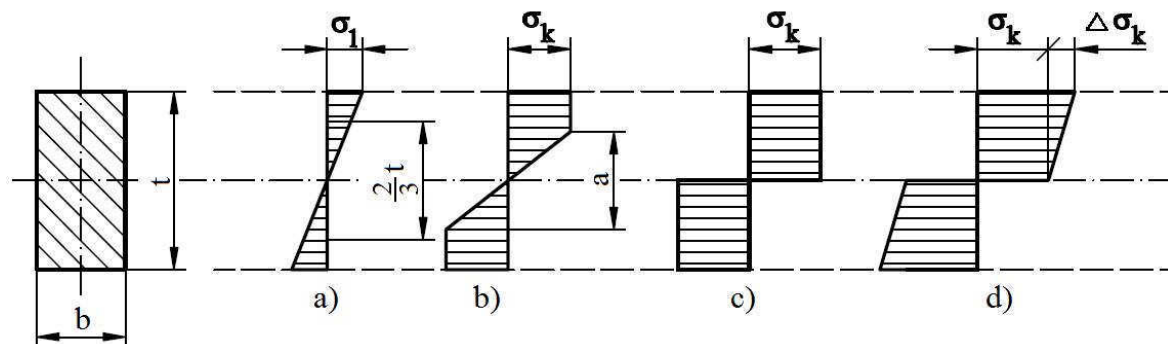
Tloušťka materiálu [mm]	Šířka okraje [mm]
do 1	1,5
1,5 až 2,5	2
2,5 až 3,5	2,5

Během ohýbání širokých pásů z plechu, kdy šířka je mnohem větší než tloušťka, je zabráněno deformaci v příčném směru, „ ε_2 “ je rovno nule a z rovinného stavu deformace plyne, že na tahové straně bude „ $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ “, a na tlakové straně „ $-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$ “. Tomu odpovídá rovinná napjatost, jak je znázorněno na obr. 4.2b.



Obr. 4.2 Schémata napjatosti a deformace při ohybu tyčí a širokých pásů [9]

Na obr. 4.3 je znázorněno rozložení napětí v příčném průřezu materiálu namáhaného ohybem. Dokud největší napětí v ohýbaném materiálu zůstává menší než mez kluzu, dochází pouze k pružné deformaci, která se řídí podle závislosti odpovídající Hookovu zákonu (obr. 4.3a). Zvýšením ohybového napětí nad mez kluzu vzniknou ve vnějších vláknech plastické deformace, ale uvnitř materiálu zůstává stále vrstva o tloušťce „a“ v pružném stavu (obr. 4.3b). Dalším růstem ohybového momentu dochází k zužování tloušťky vrstvy „a“ až nastane stav, kdy $a = 0$, pružné jádro přestane existovat a velikost napětí se již nemění (obr. 4.3c). Na obr. 4.3d je pak znázorněn průběh napětí při čistě plastickém ohybu se zpevněním.



Obr. 4.3 Rozložení napětí v průřezu ohýbané úzké tyče [2]

4.2 Poloha neutrální plochy [9], [7], [2]

Poloha neutrální vrstvy plochy je důležitá pro stanovení rozměrů výchozího materiálu pro ohýbání a pro stanovení minimálních poloměrů zaoblení r_{\min} . V případě malých, pružně plastických deformací s velkým poloměrem zaoblení $\frac{R_0}{t} \geq 12$ je možno předpokládat, že neutrální vrstva prochází uprostřed tloušťky výchozího materiálu a pak poloměr neutrální vrstvy ρ bude:

$$\rho = R_0 + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}] \quad (4.1)$$

Při ohýbání s malými poloměry zaoblení, kdy $\frac{R_0}{t} \leq 6$ se poloměr určí s přihlédnutím na deformaci průřezu:

$$\rho = \left(R_0 + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad [\text{mm}] \quad (4.2)$$

kde: $z_z = t_1/t$ – součinitel ztenčení [-]

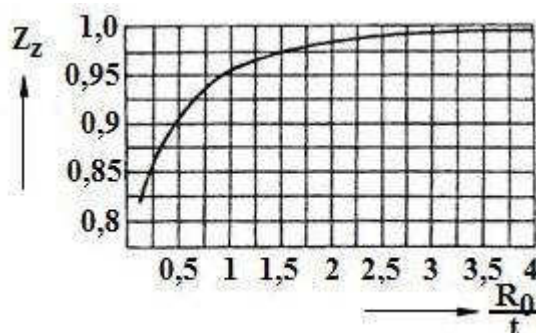
$z_r = b_1/b$ – součinitel rozšíření původního průřezu [-]

b, t – šířka a tloušťka výchozího materiálu [mm]

b_1, t_1 – šířka a tloušťka materiálu po ohnutí [mm]

Součinitel ztenčení „ z_z “ při ohybu závisí na tvárnosti materiálu, stupni deformace, úhlu ohybu a tření materiálu o nástroj. Velikost součinitele ztenčení při ohýbání tlustých průřezů z měkké oceli o 90° lze odečíst z diagramu na obr. 4.4.

Hodnoty součinitele rozšíření „ z_r “ pro měkkou ocel pro poměrné šířky vzorku $b = 0,5 \cdot t$ až $b = 3 \cdot t$ jsou uvedeny v tab. 4.1.



Obr. 4.4 Součinitel ztenčení „ z_z “ při ohýbání měkké oceli o 90° [7]

Tab. 4.1 Součinitel rozšíření původního průřezu při ohýbání „ z_r “ [7]

Šířka ohýbaného dílce b [mm]	$b = 0,5 \cdot t$	$b = t$	$b = 1,5 \cdot t$	$b = 2 \cdot t$	$b = 2,5 \cdot t$	$b \geq 3 \cdot t$
Součinitel rozšíření z_r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

Při ohýbání širokých pásů plechu, kde $b \geq 3 \cdot t$ se určuje poloměr neutrální plochy pomocí součinitele „ x “, který vyjadřuje posunutí neutrální plochy a je závislý zejména na mechanických vlastnostech a pevnosti ohýbaného materiálu

$$\rho = R_0 + x \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (4.3)$$

V tabulce 4.2 jsou uvedeny hodnoty součinitele „ x “ a součinitele ztenčení „ z_z “ pro ohyb širokých plechů z měkké oceli o úhel 90° . Velikost poloměru neutrální plochy „ ρ “ slouží především k určení délky „ l_0 “ ohnuté části.

Tab. 4.2 Závislost součinitele „ x “ a ztenčení „ z_z “ na poměrném radiusu ohybu R_0/t [7]

R_0/t	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486
z_z	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998

4.3 Stanovení výchozího polotovaru [7], [2]

Délka výchozího polotovaru pro součást vyráběnou ohýbáním s různými druhy ohybu (obr. 4.5) se stanoví obvykle tímto způsobem:

- určení poloměru ohybu neutrální vrstvy,
- stanovení délek oblouků v ohybech,
- součet jednotlivých částí ohýbané součásti.

Určení poloměru neutrální vrstvy se provede podle jednoho z výše uvedených vztahů. Délku ohnuté části „ l_0 “ lze pak vypočítat ze vztahu:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \quad [\text{mm}] \quad (4.4)$$

Při ohybu součástí na 180° při úplném dosednutí ohýbaného materiálu kdy $r = 0$ (obr. 4.5c), délka ohnuté části bude

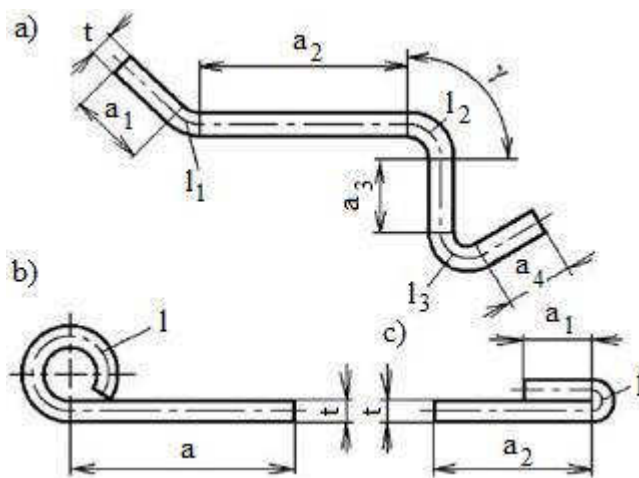
$$l_0 = 0,5 \cdot \pi \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (4.5)$$

Celková délka výchozího polotovaru pro ohýbanou součást je dána součtem všech délek oblouků „ l_n “ a rovných částí „ a_n “.

$$L_c = \sum l + a \quad [\text{mm}] \quad (4.6)$$

$$\text{kde: } \sum l = l_1 + l_2 + \dots + l_n \quad [\text{mm}]$$

$$\sum a = a_1 + a_2 + \dots + a_n \quad [\text{mm}]$$



Obr. 4.5 Stanovení délky výchozího polotovaru při ohýbání [2]

4.4 Minimální a maximální poloměr ohybu [9], [7]

Pružně plastický ohyb lze provádět až do minimálního poloměru ohybu R_{\min} . Minimální poloměr ohybu R_{\min} závisí na plastičnosti a anizotropii použitého materiálu, na způsobu ohýbání, úhlu ohybu, šířce a tloušťce ohýbaného polotovaru a na kvalitě povrchu. Při provádění ohybu na poloměr menší než je R_{\min} dojde na vnější tahové straně polotovaru k porušení vláken. Rozhodující je tečné tahové napětí v krajních vláknech, kde po dosažení meze pevnosti v tahu R_m dochází k porušení lomem. Zásadně je třeba ohyb provádět napříč vlákny polotovaru. Výstřižky z plechu je třeba zakládat do ohýbacího nástroje tak, aby ostřiny vzniklé při stříhání byly na vnitřní straně ohybu a při ohýbací operaci byly stlačovány a ne roztahovány. U málo plastických materiálů dochází v důsledku intenzivního deformačního zpevnění ke vzniku trhlin při ohybu, a proto je nutné zařadit vhodné tepelné zpracování, například žhání. V praxi se hodnoty R_{\min} využívají jen v nutných případech. Většinou se volí hodnoty o 20% větší. Některé orientační hodnoty R_{\min} :

$$R_{\min} = (0,4 \text{ až } 0,8) \cdot t \quad \text{– pro měkkou ocel}$$

$$R_{\min} = 0,25 \cdot t \quad \text{– pro měkkou měď}$$

$$R_{\min} = 0,35 \cdot t \quad \text{– pro hliník}$$

Napětí v krajních vláknech vyvolá podle obr. 4.6 trvalou poměrnou deformaci ε_{tmax} ,

$$\varepsilon_{tmax} = \frac{l_2 - l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho \cdot \alpha}{\rho \cdot \alpha} = \frac{(R_{min} + t) - \left(R_{min} + \frac{t}{2}\right)}{\left(R_{min} + \frac{t}{2}\right)} = \frac{t}{2 \cdot R_{min} + t} \quad [mm] \quad (4.7)$$

z které lze stanovit minimální poloměr ohybu R_{min} :

$$R_{min} = \frac{t \cdot (1 - \varepsilon_{tmax})}{2 \cdot \varepsilon_{tmax}} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1\right) = c \cdot t \quad [mm] \quad (4.8)$$

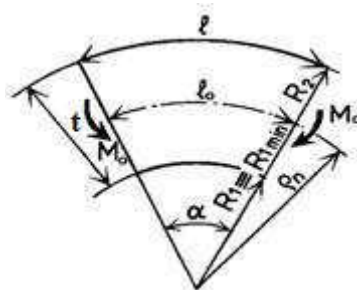
kde: ε_{tmax} – trvalá poměrná deformace [-]

c – součinitel dle tab. 4.3, hodnota součinitele „ c “ se mění se zpevněním a se směrem vláken – anizotropií [-]

R_{min} – minimální poloměr ohybu [mm]

Tab. 4.3 Hodnoty součinitele „ c “ pro různé materiály [9]

MATERIÁL	SOUČINITEL C [-]
měkká ocel	0,5 až 0,6
měkká mosaz	0,3 až 0,4
hliník	0,35
dural	3 až 6
měkká měď	0,25



Obr. 4.6 Deformační schéma ohybu [9]

Maximální poloměr ohybu R_{max} je největší poloměr ohybu, při kterém v krajních vláknech na tahové straně dojde k počátku trvalé plastické deformace a tím se zamezí zpětnému navrácení materiálu do původního stavu po odtížení. Z Hookova zákona a z rovnice (4.7) lze vyjádřit kritickou poměrnou deformaci na mezi kluzu v tahu (4.9) a odtud pak stanovit maximální poloměr ohybu R_{max} (4.10):

$$\varepsilon_{tmin} = \frac{Re}{E} = \frac{t}{2 \cdot R_{max} + t} \quad (4.9)$$

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1\right) \quad [mm] \quad (4.10)$$

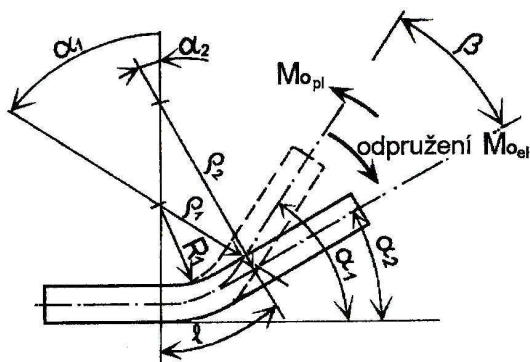
kde: R_{max} – maximální poloměr ohybu [mm]

ε_{tmin} – kritická poměrná deformace na mezi kluzu [-]

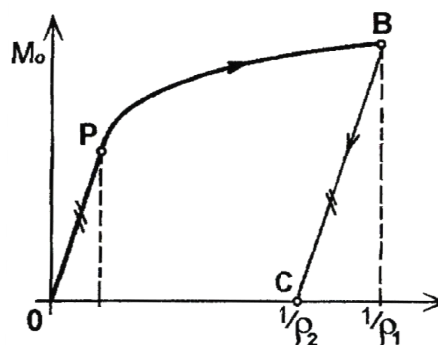
Velikost pružné deformace, která se projeví odpružením po ohýbání, je rozdílná při volném ohýbání bez kalibrování materiálu a při ohýbání s kalibrováním a ražením úhlu. Pro dosažení větších poloměrů, než je maximální poloměr ohybu lze použít některou ze speciálních metod tváření např. ohýbání s vypínáním.

4.5 Odpružení při ohybu [9], [7], [2], [12]

Proces ohýbání za studena doprovází pružné deformace, které jsou vratné a po ukončení ohybu a odtížení způsobují odpružení. V důsledku odpružení nesouhlasí výsledný tvar ohnuté součásti s tvarem ohýbadla. Při konstrukci a výpočtech ohýbacích nástrojů je proto nutné brát na odpružení zřetel a ohýbadla řešit tak, aby umožňovala ohyby větší o hodnoty odpružení, viz obr. 4.7. Závislost ohybového momentu na křivosti s vlivem odpružení je znázorněna na obr. 4.8.

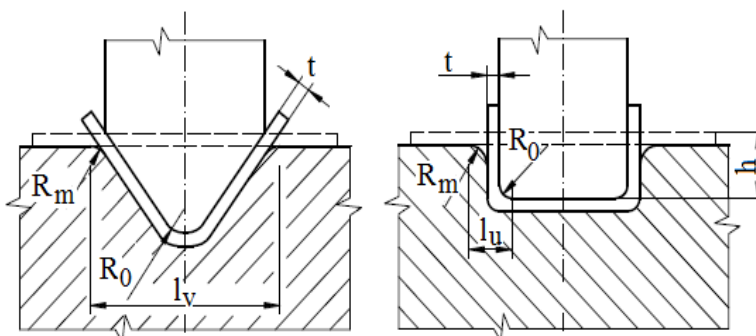


Obr. 4.7 Schéma odpružení po ohybu [9]



Obr. 4.8 Závislost ohybového momentu na křivosti s vlivem odpružení [9]

Velikost odpružení závisí na kvalitě materiálu, tloušťce polotovaru, poloměru ohybu, úhlu ohybu a způsobu provedení ohybu („V“ – ohyb, U – ohyb). Platí, že čím je velikost deformace v místě ohybu větší a čím materiál méně zpevňuje, tím je odpružení menší. Dále platí, že s rostoucí tloušťkou materiálu a zmenšujícím se



Obr. 4.9 Schéma k výpočtu velikosti odpružení [7]

poloměrem ohybu se odpružení rovněž zmenšuje. V oblasti malých poměrů $\frac{r}{t}$ vlivem napjatosti a nesnadným seřizováním ohýbadla je velmi obtížné použití výpočtových metod. Místo nich se velikost odpružení stanoví pomocí experimentálních zkoušek. Pro přibližný výpočet úhlu odpružení „β“ pro ohyb „V“ a „U“ lze použít následující vztahy (obr. 4.9):

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad \text{ohýbání do tvaru "V"} \quad (4.11)$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad \text{ohýbání do tvaru "U"} \quad (4.12)$$

kde: l_v – vzdálenost mezi opěrami ohybnice při ohybu do „V“ [mm]

l_u – vzdálenost při ohybu do „U“ [mm]

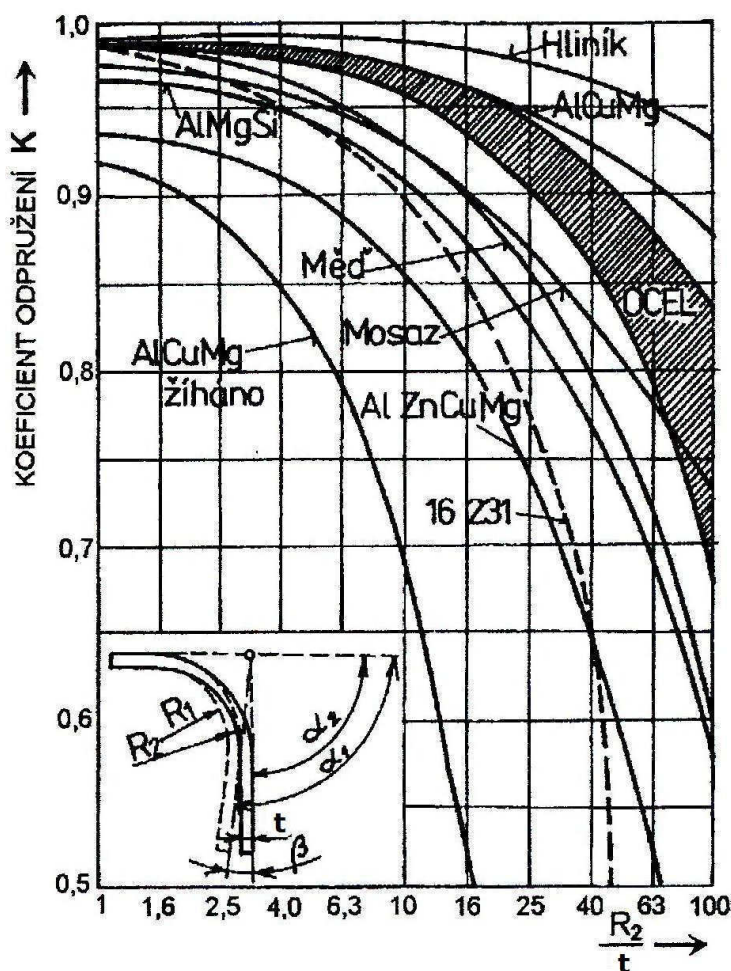
k_1 – součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R_0/t [-]

β – úhel odpružení [°]

Orientačně je možno odpružení při ohýbání s velkým poloměrem ohybu určit z diagramu (obr. 4.10) jako poměr:

$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_1 + 0,5 \cdot t}{R_2 + 0,5 \cdot t} \quad [-] \quad (4.13)$$

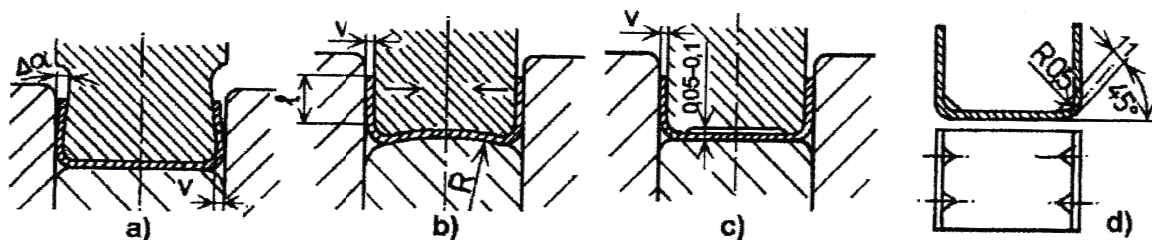
kde R_1 , α_1 značí hodnoty, na které je nutno výlisek ohnout, aby po odpružení bylo dosaženo požadovaných parametrů ohybu R_2 , α_2 .



Obr. 4.10 Diagram k určení koeficientu odpružení „K“ [9]

U součástí s velkým poloměrem ohybu ($R_0/t > 20$), kde je odpružení velké se neurčuje úhel odpružení „ β “, ale změna poloměru „ R_1 “ na „ R_2 “ (na obr. 4.10 hodnoty „ R_1 “ a „ R_2 “). Výpočet poloměru zaoblčení ohybníku s ohledem na odpružení materiálu uvádí norma ČSN 22 7340.

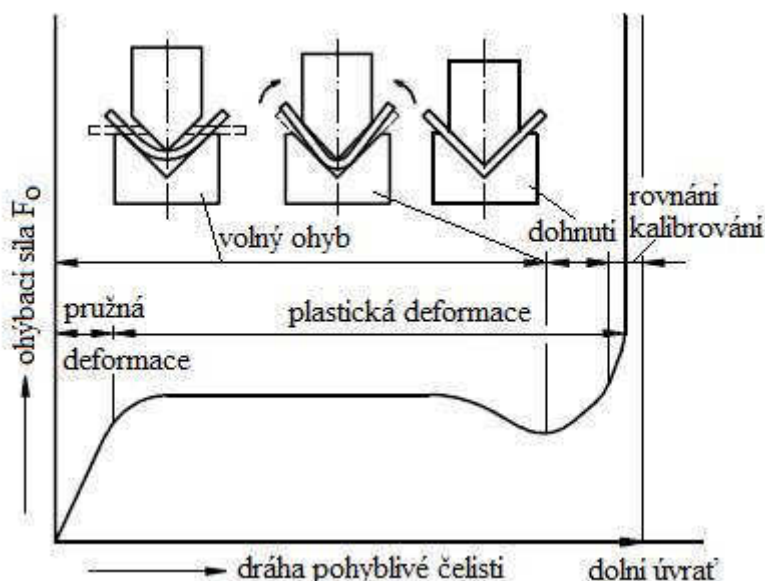
Vhodnými konstrukčními úpravami ohýbacího nástroje je možné zabránit výraznému odpružení po ohybu. Mezi tyto úpravy patří především podbroušení ohybníku o úhel $\Delta\alpha$ a vytvořením tzv. záporné vůle $v = (0,8 \div 0,9) \cdot t$ (obr. 4.11a), zaoblčení dolní části ohýbadla či vyhazovače (obr. 4.11b), zpevněním materiálu v rozích kalibrační oblasti ohybu (obr. 4.11c) a případně i vytvořením výztužných žebër (obr. 4.11d).



Obr. 4.11 Způsoby odstranění výrazného odpružení po ohybu [9]

4.6 Ohýbací síla a ohýbací práce [2], [18], [12]

Teoretická ohýbací síla je dána rovností vnějších a vnitřních ohybových momentů. Velikost ohýbací síly není po celou dobu ohybu konstantní, ale mění se v závislosti na poloze pohyblivé části. Průběh ohýbací síly je znázorněn na obr. 4.12. V první fázi ohybu vznikají pružné deformace a ohýbací síla roste lineárně. Toto se děje až do oblasti, kde začne docházet k plastickým deformacím. Po vzniku první plastické deformace již síla svou velikost příliš nemění a její průběh je prakticky konstantní – někdy může dojít i k jejímu poklesu. V závěrečné fázi ohybu, kdy dochází k tzv. dohnutí síla opět narůstá a při použití kalibrace může kalibrační síla být několikanásobně větší než síla ohybová.



Obr. 4.12 Změna ohýbací síly v závislosti na poloze pohyblivé části [2]

Pro stanovení velikosti ohýbací síly je nejprve nutno rozlišit, o jaký typ ohybu se jedná. K rychlému stanovení ohýbací síly pro ohyb do tvaru „V“ do pravého úhlu při minimálním poloměru $R = (0,8 \div 3) \cdot t$ je možno použít vztahu (4.14). Norma ČSN 22 7340 uvádí pro výpočet ohýbací síly vztah (4.15). Ohýbací práci lze pak určit ze vztahu (4.16).

$$F_{OV} = \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{l} \quad (4.14)$$

$$F_{OV} = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (4.15)$$

$$A_{OV} = m \cdot F_{OV} \cdot h \quad (4.16)$$

kde: A_{OV} – ohýbací práce při ohybu do tvaru „V“ [15]

F_{OV} – ohýbací práce při ohybu do tvaru „V“ [N]

b – šířka ohýbané součásti [mm]

h – pracovní zdvih, $h = 1/2$ (polovina šířky ohybnice) [mm]

l – šířka ohybnice [mm]

m – koeficient zaplnění diagramu, $m = 1/3$ [-]

α – vrcholový úhel [°]

Pro ohyb do tvaru „U“ se ohýbací síla vypočte dle vztahu (4.17) a ohýbací práce pak dle vztahu (4.19). Norma ČSN 22 7340 uvádí pro výpočet síly vztah (4.18).

$$F_{OU} = \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{2} \quad (4.17)$$

$$F_{OU} = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R + t} \quad (4.18)$$

$$A_{OU} = m \cdot (F_{OU} + F_P) \cdot h \quad (4.19)$$

kde: A_{OU} – ohýbací práce při ohybu do tvaru „U“ [15]

F_{OU} – ohýbací síla při ohybu do tvaru „U“ [N]

F_P – síla přidržovače ($F_P = 0,25 \cdot F_{OU}$) [N]

f – součinitel tření [-]

m – koeficient zaplnění diagramu, $m = 0,66$ [-]

Sílu pro zakružování plechu je možno určit ze vztahu:

$$F_Z = \frac{0,7 \cdot t^2 \cdot b \cdot R_m}{d_z} \quad (4.20)$$

kde: d_z – vnější průměr zakružované části [mm]

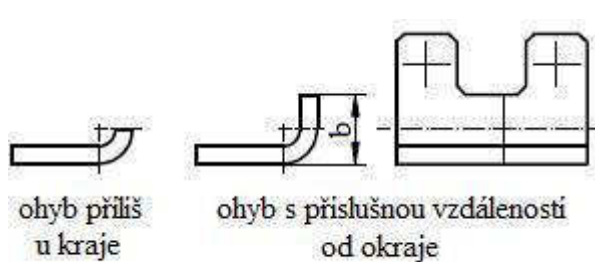
4.7 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí [22], [2]

Technologičnost součástí ohýbaných z plechu závisí značnou měrou na tvárnosti materiálu, které se při ohýbání plně využívá, dále na respektování některých nedokonalostí technologického procesu při konstrukci součástí, mezi které patří:

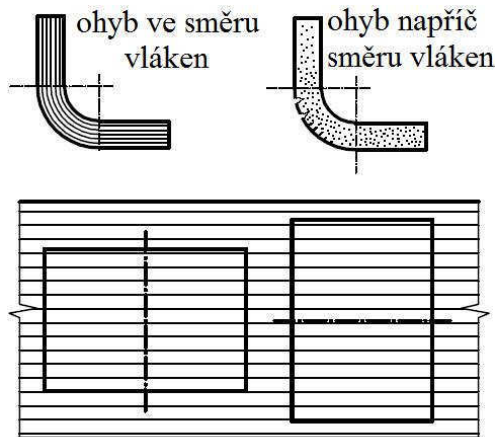
- nepřesnost úhlu ohybu, způsobená různě velkým odpružením při ohýbání za studena v důsledku nestejnoměrnosti mechanických vlastností materiálu a tloušťky plechu,
- deformace průřezu v oblasti ohybu – především zmenšení tloušťky ohýbaného plechu,
- nepřesné délky ramen zapříčiněné nesprávným umístěním polotovaru a nestejným třením na hranách čelistí,
- porušení materiálu na vnější straně ohybu, způsobené malým poloměrem ohybu, malou tvárností materiálu, nerespektováním směru vláken,
- zpevnění materiálu v oblasti ohybu způsobené tvářením za studena.

V zájmu vyhotovení kvalitního výrobku je nutné dodržet tyto zásady:

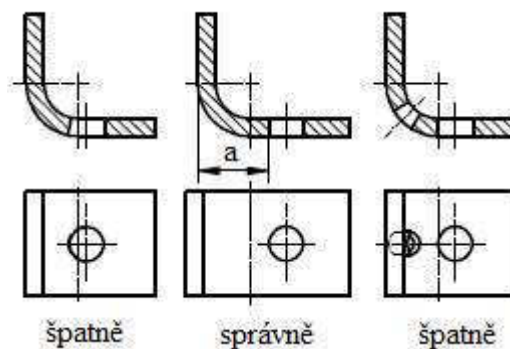
- poloměr ohybu volit malý, aby se zmenšilo odpružení,
- osa ohybu má být kolmá k vláknům (obr. 4.15),
- nezmenšovat tolerance rozměrů ohýbaných součástí pod hranici, kterou lze dosáhnout při běžném způsobu ohýbání,
- okraje polotovaru mají být v oblasti ohybu kolmé k ose ohybu,
- místo ohybu má být uvolněno od neohýbaných částí, jinak nebude ohyb pravidelný, případně dojde k natržení okrajů (obr. 4.16),
- ohyb nemá ležet při okraji materiálu – rameno musí mít určitou nejmenší délku, aby se dal ohyb bez zvláštních opatření provést (obr. 4.13),
nejmenší délka ramena „b“ má být:
při $r < 1 \text{ mm}$... $b \geq 3t + r$, avšak nejméně 2 mm
při $r > 1 \text{ mm}$... $b \geq (2,5 \text{ až } 3)t$
- konstrukční prvky, které se nemají deformovat, musí být vzdáleny od oblasti ohybu minimálně o vzdálenost „a“ : $a \geq r + 2t$ (obr. 4.14),
- složité součásti tvarovat tak, aby počet jednotlivých ohybů byl nejmenší a ohýbalo se jedním směrem
- kde to funkce součástí připouští ponechávat netolerované rozměry



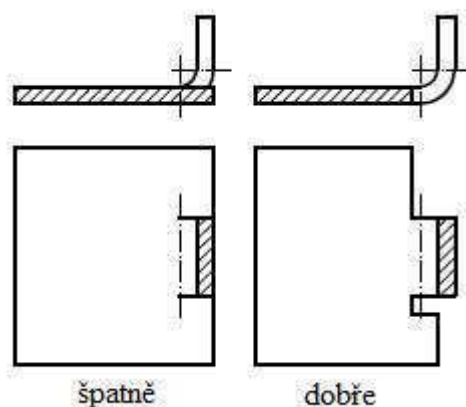
Obr. 4.13 Úprava součásti k ohýbání [2]



Obr. 4.15 Vliv směru vláken [2]



Obr. 4.14 Vzdálenost otvoru od ohybu [2]

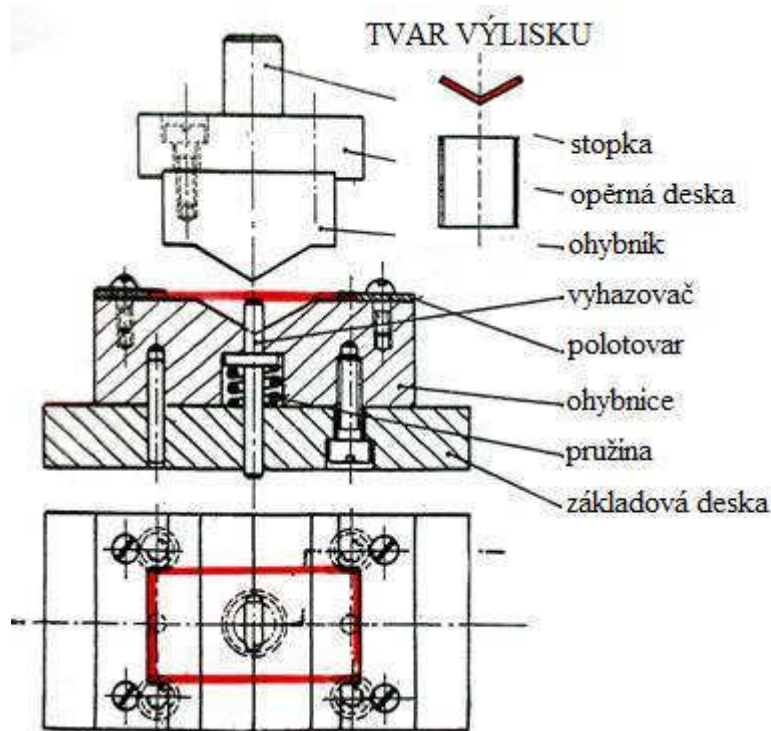


Obr. 4.16 Konstrukční úprava výlisku [2]

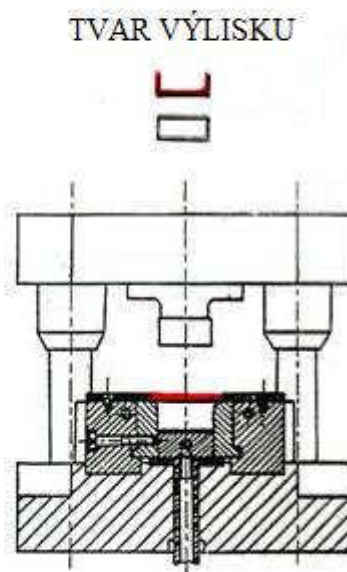
4.8 Nástroje pro ohýbání na lisech [9], [12], [18], [15]

Nástroje pro ohýbání na lisech se nazývají ohýbadla. Je možno je rozdělit podle způsobu a technologie ohýbání nejčastěji pro ohýbání do tvaru „U“ a do tvaru „V“. Konstrukce ohýbacích nástrojů se používá shodná jako u nástrojů střižných. Typická konstrukce je znázorněna na obr. 4.17, kde se přístřih vkládá do zakládacího rámečku, sestupem ohybníku dojde k vytvoření ohybu do tvaru „V“, a vyjímání ohnuté součásti je provedeno odpruženým vyhazovačem. Na obr. 4.18 je zobrazena konstrukce ohýbacího nástroje s vodícími sloupky, který slouží k výrobě ohybu do tvaru „U“.

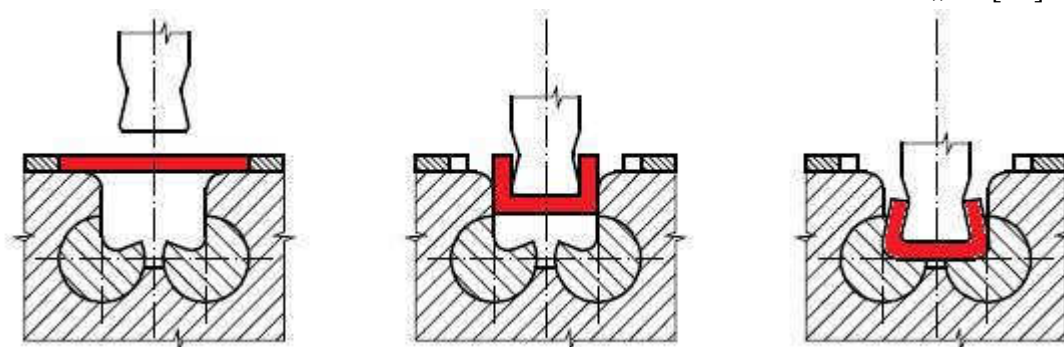
Pro součásti, kde se ohyb provádí o více než 90° se používají nástroje s bočními klíny nebo s otočnými čelistmi. Ohýbání se provádí v pevných čelistech do tvaru „U“ a uzavření součásti se dokončí pootočením čelistí při dolisování (obr. 4.19).



Obr. 4.17 Ohýbací nástroj s rámečkem [15]



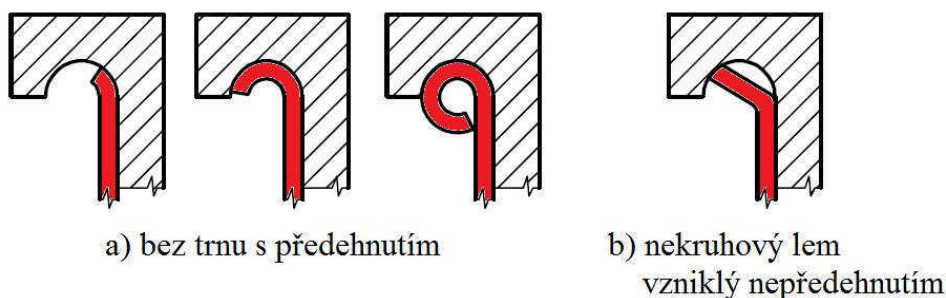
Obr. 4.18 Nástroj pro ohyb do tvaru „U“ [15]



Obr. 4.19 Ohýbací nástroj s otočnými čelistmi [12]

Mezi speciální ohýbací nástroje je možné počítat nástroje sdružené, v nichž probíhá současně stříh a ohyb. Tyto nástroje potřebují pro bezporuchový provoz dokonalé, masivní vedení, neboť střížný nástroj pracuje s jinou přesností než ohýbací. Dále je třeba zajistit, aby při ohybu byl polotovár buď již oddělen od pásu a stříh probíhal bez nebezpečí zlomení střížníků, nebo aby byl spojen v pásu, kdy však ke stříhu musí dojít až na konci zdvihu, kdy není nebezpečí osového posunutí pásu. Nikdy by nemělo docházet k přílišnému vnikání střížníku do střížnice, vlivem rozdílné pracovní dráhy ohýbací čelisti a střížníku, s ohledem na životnost nástroje.

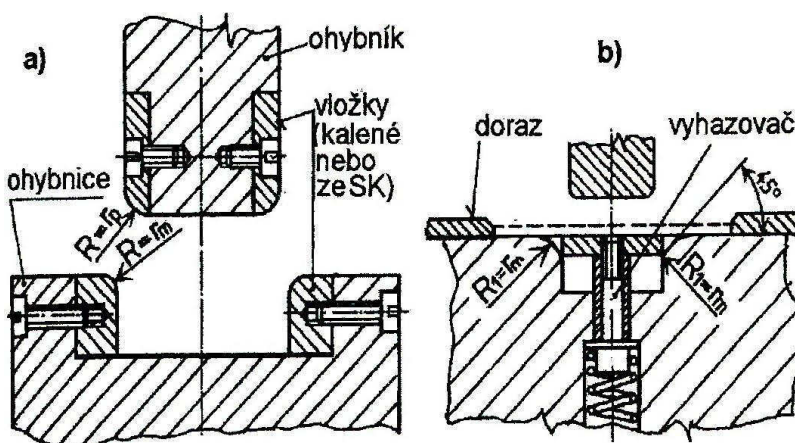
Pro vytváření válcového zakončení bez trnu do poloměru $r < 3 \cdot t$ tzv. lemu se používá lemovacích nástrojů, které se konstruují pro lem přímý nebo kruhový. Postup lemování je znázorněn na obr. 4.20a. Nejprve musí dojít k předehtnutí okraje součásti, a to buď v samotném nástroji, nebo již při stříhání tvarovým střížníkem. V případě lemování nepředehtného konce dochází k vytvoření vícehranného nekruhového lemu (obr. 4.20b). Vzhledem k tomu, že při lemování dochází k nepříznivému zatěžování polotovaru v ose, je nutné pro zachování stability jeho dokonalé sevření.



Obr. 4.20 Lemování [12]

4.8.1 Funkční části ohýbadel [9], [2], [12], [18], [22]

Pohyblivá pracovní část ohýbadla se nazývá ohýbník. Bývá opatřena stopkou, která je zajištěna proti pootočení. U malých nástrojů může být stopka s čelistí z jednoho kusu. Šířka pohyblivé čelisti musí být nejméně taková, jako je šířka ohýbané součásti. Ohýbací hrany jsou kaleny a leštěny. Poloměr zaoblení ohýbníku „ r_p “ je totožný s poloměrem ohýbané součásti, případně může být



Obr. 4.21 Funkční části ohýbadel [9]

upraven s ohledem na odpružení součásti. Pro úsporu legovaných ocelí se používá buď kalených vložek, nebo vložek ze slinutých karbidů (obr. 4.21). Sloupkové vedení ohýbníku se používá jen u přesných nástrojů a při velkých sériích. Běžný ohýbací nástroj vedení nemá.

Spodní částí ohýbacího nástroje je ohýbnice, která je pevná. Její poloměr zaoblení „ r_m “ ovlivňuje velikost ohýbací síly a jakost ohybu a volí se v rozmezí:

$$r_m = (2 \div 6) \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (4.21)$$

Tab. 4.4 Poloměr zaoblení pevné čelisti „ r_m “, hloubka čelisti „ l “ [22]

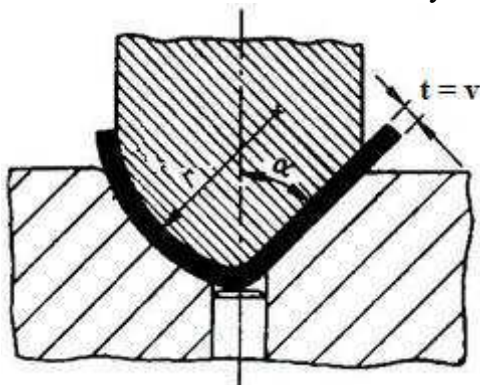
Délka ramena „ L “ [mm]	Tloušťka materiálu [mm]							
	do 0,5		0,5 – 2,0		2,0 – 4,0		4,0 – 7,0	
	l [mm]	r_m [mm]	l [mm]	r_m [mm]	l [mm]	r_m [mm]	l [mm]	r_m [mm]
10	6	3	10	3	10	4	-	-
20	8	3	12	4	15	5	20	8
35	12	4	15	5	20	6	25	8
50	15	5	20	6	25	8	30	10
75	20	6	25	8	30	10	35	12
100	-	-	30	10	35	12	40	15
150	-	-	35	12	40	15	50	20
200	-	-	45	15	55	20	65	25

Doporučené hodnoty velikosti zaoblení a hloubky pevné čelisti v závislosti na tloušťce materiálu a délce ramena součásti jsou uvedeny v tab. 4.4. Poloměry zaoblení čelisti musí být na obou stranách stejné, jinak by docházelo ke skluzu polotovaru směrem k menšímu

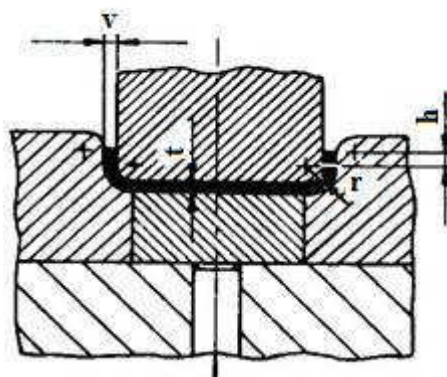
poloměru. Hloubky čelistí „l“, uvedené v tab. 4.4, se používá jen u ohýbadel určených pro klikové lisы s malým pracovním zdvihem, a proto je hloubka čelistí menší než délka ohýbaných ramen. U plechů, kde $t > 3$ mm je výhodnější srazit hrany ohybnice pod úhlem 45° a přechody zaoblit poloměrem „ r_m “, jak je znázorněno na obr. 4.21b.

4.8.2 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [9], [2], [18]

Při ohýbání na lisech je nutné dodržet správnou vůli mezi činnými částmi ohýbadla, tedy mezi ohybníkem a ohybnicí. Velikost této vůle je závislá na tloušťce materiálu, druhu a výrobní toleranci materiálu a na délce ohýbaného okraje.



Obr. 4.22 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí při ohybu úhlem „ α “ [2]



Obr. 4.23 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí při ohybu do „U“ [2]

Při ohýbání součásti do tvaru „V“, nebo při ohybu stěn součásti pod určitým úhlem „ α “ případně poloměrem „ r “, mezera mezi pevnou a pohyblivou čelistí odpovídá tloušťce ohýbaného materiálu (obr. 4.22) a získá se seřízením sevření lisu.

Při ohýbání do tvaru „U“ (obr. 4.23) závisí vůle na tloušťce a toleranci tloušťky ohýbaného materiálu. Stanoví se ze vztahu:

$$v = (t \text{ až } t_{\max}) + t \cdot c \quad [\text{mm}] \quad (4.22)$$

kde: t_{\max} – největší tloušťka plechu [mm]

(jmenovitá tloušťka plechu + horní mezní úchylka)

c – součinitel vyjadřující vliv tření ohýbané součásti o ohybnici s ohledem na délku ramene [-]

Pro přibližné stanovení vůle při ohýbání lze použít vztahů:

$$\text{– u ocelí} \quad v = (1,05 \div 1,15) \cdot t \quad (4.23)$$

$$\text{– u neželezných kovů} \quad v = (1,00 \div 1,10) \cdot t \quad (4.24)$$

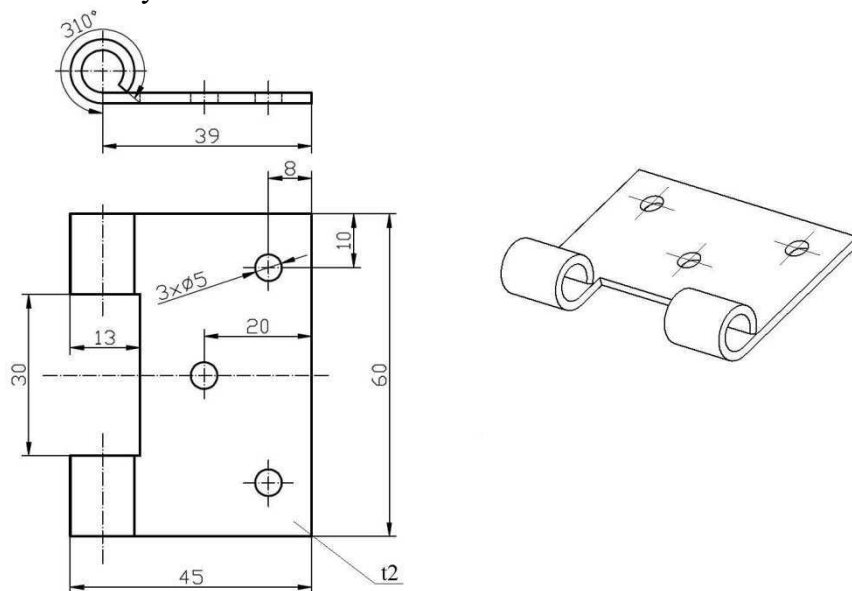
Vůle se vytváří vždy na úkor té části, kde není vyznačena přesnost rozměru součásti. Pokud je požadováno dodržení vnějšího rozměru součásti, vůle se vytváří zmenšením rozměru ohybníku, pokud je kladen důraz na vnitřní rozměr součásti, vůli získáme zvětšením rozměru ohybnice. S rostoucí vůlí klesá ohýbací síla.

Tab. 4.5 Hodnoty součinitele „ c “ [18]

Délka ramena „L“ [mm]	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 4,0	4,0 – 7,0
	c [-]	c [-]	c [-]	c [-]
10	0,1	0,1	0,08	-
20	0,1	0,1	0,08	0,06
35	0,15	0,1	0,08	0,06
50	0,2	0,15	0,1	0,08
75	0,2	0,15	0,1	0,1
100	-	0,15	0,1	0,1
150	-	0,2	0,15	0,1
200	-	0,2	0,15	0,15

5 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Vzhledem k velikosti výrobní série 300 000 ks a dalším požadavkům na součást byla jako nejvhodnější technologie výroby zvolena technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Součást bude vyráběna z konstrukční nelegované oceli 11 321. Její tvar a rozměry jsou znázorněny na obr. 5.1



Obr. 5.1 Tvar a rozměry vyráběné součásti

Stanovení délky rozvinutého tvaru:

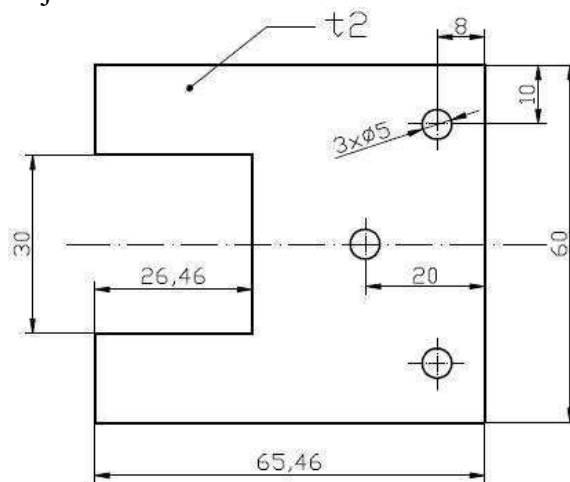
Výpočet délky rozvinutého tvaru je prováděn dle kap. 4.2. Z tab. 4.2 je zvolen součinitel posunutí neutrální osy „x“ pro: $R_0 = 4 \text{ mm}$; $t = 2 \text{ mm}$; $R_0/t = 2$; $x = 0,445$

$$\rho_1 = R_{01} + x \cdot t = 4 + 0,445 \cdot 2 = 4,89 \text{ mm}$$

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \rho_1 \cdot \gamma_1}{180} = \frac{\pi \cdot 4,89 \cdot 310}{180} = 26,4574 \text{ mm}$$

$$L_C = l_1 + l_2 = 26,4574 + 39 = 65,4574 \text{ mm}$$

Rozvinutý tvar součásti je znázorněn na obr. 5.2.



Obr. 5.2 Rozvinutý tvar součásti

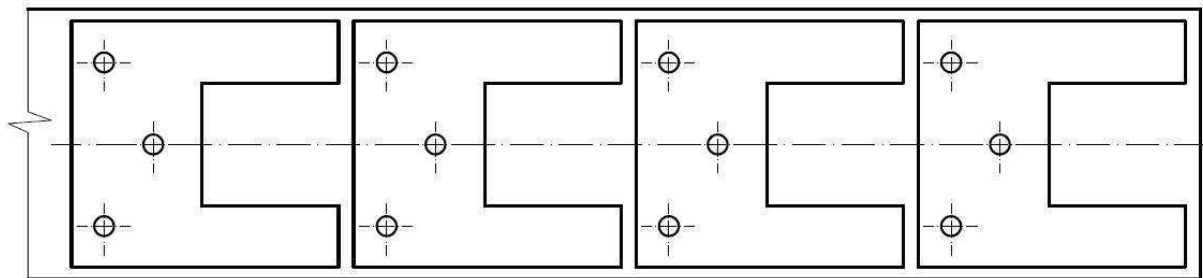
5.1 Rozmístění výstřížků v nástřihovém plánu

S ohledem na rozměry součásti v rozvinutém tvaru je možno uvažovat několik způsobů rozmístění výstřížků v nástřihovém plánu.

Varianta 1

První variantou rozmístění výstřížků je jejich uspořádání v podélném směru pohybu plechu (obr. 5.3). Toto rozmístění umožňuje výrobu dílců jak z pruhů plechu nastříhaných z tabule, tak i ze svitku plechu.

Nevýhoda této varianty spočívá v obtížné konstrukci nástroje – především jeho zakružovací části.

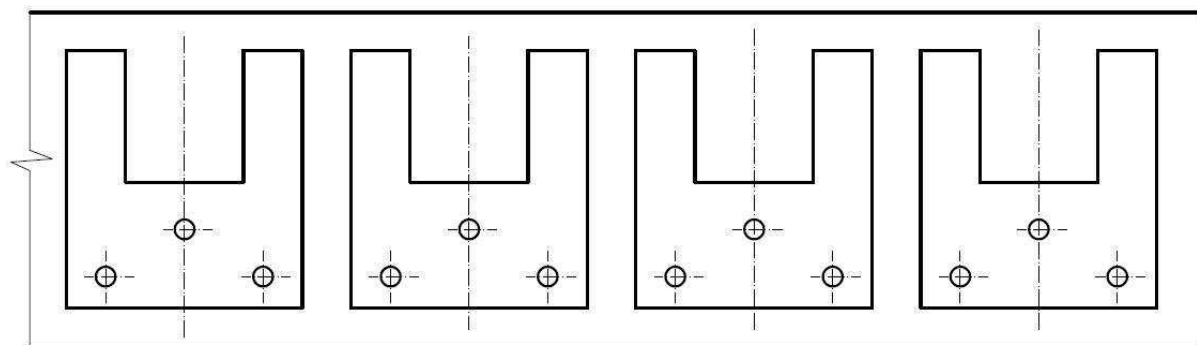


Obr. 5.3 Podélné uspořádání

Varianta 2

Druhou variantou rozmístění výstřížků je jejich uspořádání ve směru kolmém na směr pohybu plechu (obr 5.4). Toto rozmístění rovněž umožňuje jako polotovar použít pás plechu nebo svitek.

Oproti předchozí variantě zde dojde k odstranění problému s konstrukcí nástroje. Nevýhodou je, že při použití svitku plechu bude k ohybu a následnému zakroužení docházet kolmo na směr vláken.



Obr. 5.4 Příčné uspořádání

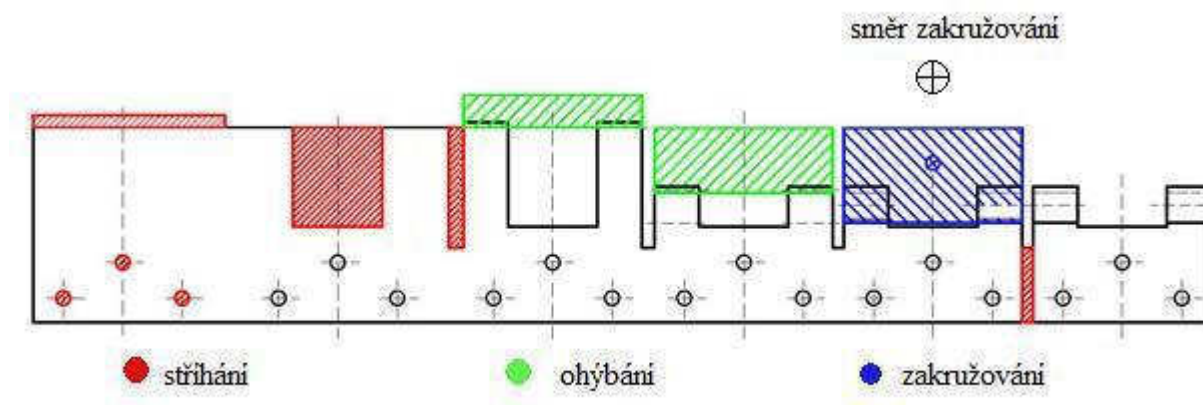
Po uvážení výhod i nevýhod a s přihlédnutím k dalšímu postupu výroby součásti byla jako lepší varianta rozmístění výstřížků v nástřihovém plánu zvolena varianta 2.

5.2 Volba postupu výroby

Vzhledem k tvaru součásti a rozmístění výstřižků na pásu plechu lze uvažovat různé varianty postupu výroby.

Varianta 2.1

U této varianty bude součást vyráběna postupně v šesti krocích (obr. 5.5), kdy v prvních dvou dojde k vystřižení otvorů a téměř celého obvodového tvaru (zachována zůstane pouze přepážka zajišťující soudržnost plechu v dalších krocích). Ve třetím kroku dojde k předehtnutí okraje o 30° , ve čtvrtém se provede ohnutí plechu o 90° směrem vzhůru. Zakroužení je provedeno v kroku pátém - zakružovací čelist se v tomto případě pohybuje vertikálně. V šestém kroku dojde k odstřižení hotové součásti.

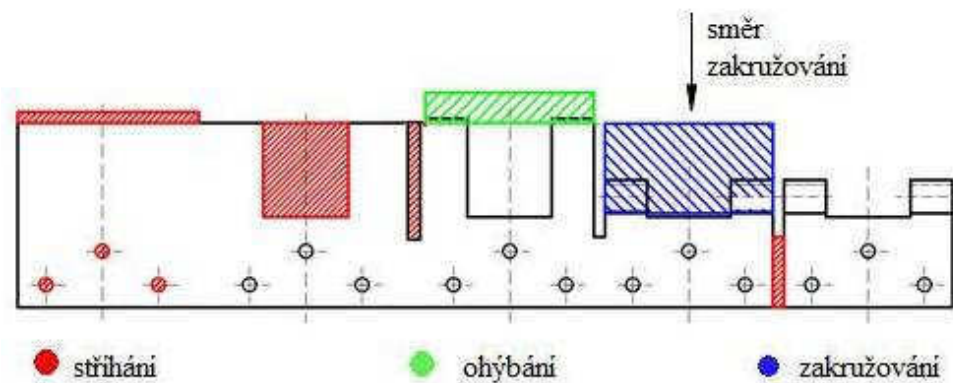


Obr. 5.5 Postup výroby – varianta 2.1

Varianta 2.2

U této varianty bude součást vyráběna postupně v pěti krocích (obr. 5.6). V prvním kroku dojde k vystřižení otvorů průměru 5 mm. V druhém kroku se provede částečné ostřížení součásti – zachována zůstane opět jenom přepážka. V třetím kroku dojde k předehtnutí okraje, což umožní zakroužení v kroku čtvrtém. Pohyb zakružovací čelisti je zde horizontální ve směru kolmém na směr posuvu plechu. Na závěr dojde k odstřižení přepážky a tím získání finálního tvaru součásti.

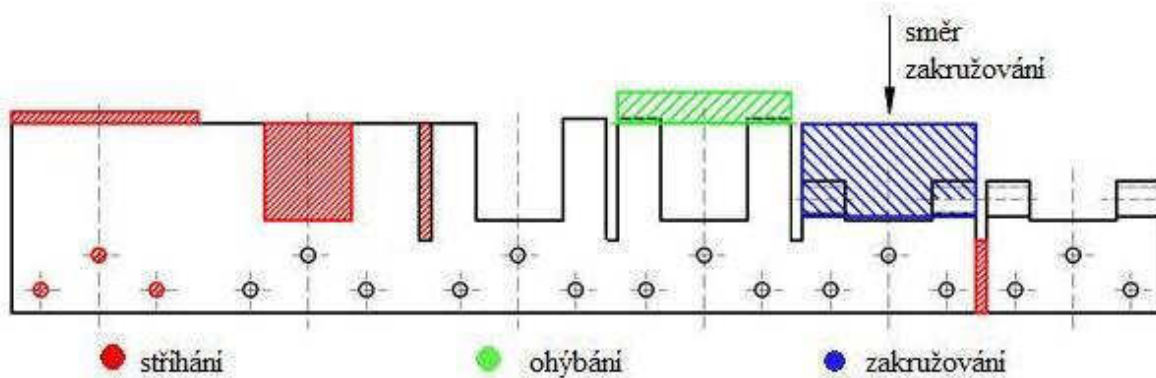
Nevýhodou této varianty je, že mezi kroky dva a tři je příliš málo prostoru mezi střížnými a ohýbacími částmi nástroje.



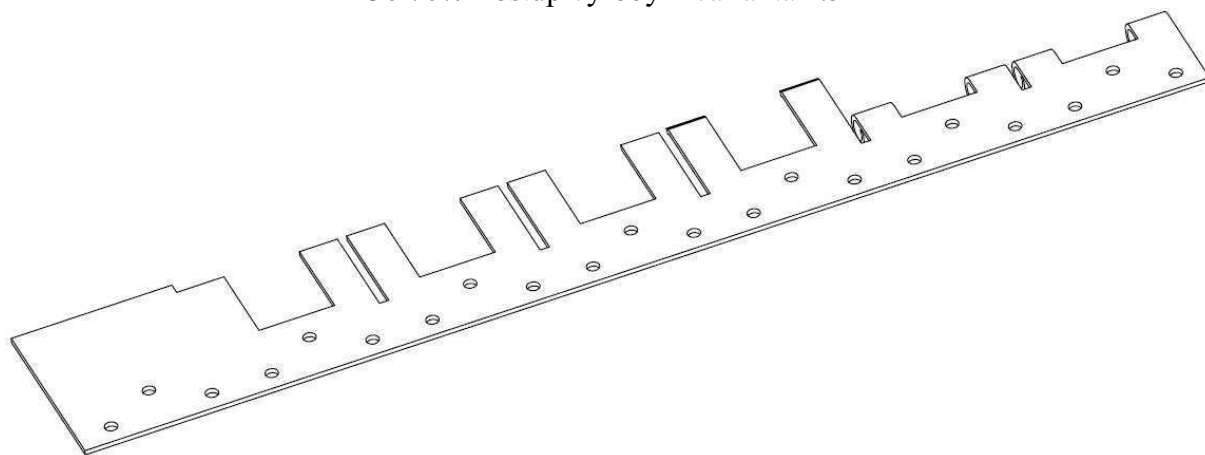
Obr. 5.6 Postup výroby – varianta 2.2

Varianta 2.3

Tato varianta výroby je obdobou varianty 2.2 s tím rozdílem, že mezi kroky dva a tři je přidán jeden volný krok navíc (obr. 5.7). Tím je zajištěn dostatek prostoru jak pro stříhání, tak i pro ohýbání. Pro lepší přehlednost je na obr. 5.8 znázorněna postup výroby na 3D modelu plechu.



Obr. 5.7 Postup výroby – varianta 2.3



Obr. 5.8 3D model plechu

Po uvážení všech výhod a nevýhod jednotlivých variant je zvolen výrobní postup dle varianty 2.3.

5.3 Rozměry nástřihového plánu

Šířka přepážky mezi jednotlivými výstřižky:

Dle tab. 3.9 pro $t = 2 \text{ mm}$ a šířku pásu $50 \div 100 \text{ mm}$ je zvoleno: $b = 3,7 \text{ mm}$

Šířka okraje stříhaného bočním nožem:

Dle tab. 3.10 pro $t = 1,5 \div 2,5 \text{ mm}$ je zvoleno: $c = 2 \text{ mm}$

Šířka pásu nebo pruhu:

$$B = h_v + c = 65,4 + 2 = 67,4 \text{ mm}$$

Velikost kroku:

$$k = l_v + b = 60 + 3,7 = 63,7 \text{ mm}$$

5.4 Volba polotovaru

Pro výrobu dané součásti se zohledněním výrobního postupu je možno použít materiál ve formě pruhů plechu nastříhaných z tabulí nebo ve formě pásu plechu odvíjeného ze svitku. Pro výrobu ze svitku je nutné mít k dispozici další přídatná zařízení, mezi která patří odvíjecí zařízení, rovnačka a podavač. Při řešení výrobního postupu součásti se vychází z předpokladu, že jsou tyto zařízení k dispozici.

Využití materiálu při výrobě z tabule plechu

a) podélně stříhané pruhy

Volba rozměrů tabule plechu [14]:

Rozměry tabule jsou zvoleny: $B_p \times L_p \times t = 1500 \times 3000 \times 2$

Rozměry nastříhaných pruhů:

šířka $B = 67,4 \text{ mm}$

délka $l_p = 3000 \text{ mm}$

Počet pruhů z tabule plechu:

$$n_p = \frac{B_p}{B} = \frac{1500}{67,4} \doteq 22,26$$

Počet pruhů z jedné tabule musí být zaokrouhlen na celé nižší číslo, tedy 22 pruhů.

Počet výstřížků z jednoho pruhu plechu:

$$n_v = \frac{L_p}{k} = \frac{3000}{63,7} = 47,09$$

Počet výstřížků z jednoho pruhu musí být rovněž zaokrouhlen na celé nižší číslo, tedy 47 výstřížků.

Počet výstřížků z tabule plechu:

$$n_{vc} = n_p \cdot n_v = 22 \cdot 47 = 1034 \text{ ks}$$

Využití materiálu:

$$k_c = \frac{S_s \cdot n_{vc}}{B_p \cdot L_p} = \frac{2922 \cdot 1034}{1500 \cdot 3000} = 0,6714$$

V procentuálním počtu je využití materiálu vyjádřeno jako 67,14 %.

b) příčně stříhané pruhy

Volba rozměrů tabule plechu [14]:

Rozměry tabule jsou zvoleny: $B_p \times L_p \times t = 1500 \times 3000 \times 2$

Rozměry nastříhaných pruhů:

$B = 67,4 \text{ mm}$; délka $l_p = 1500 \text{ mm}$

Počet pruhů z tabule plechu:

$$n_p = \frac{L_p}{B} = \frac{3000}{67,4} \doteq 44,51 \Rightarrow 44 \text{ pruhů}$$

Počet výstřížků z jednoho pruhu plechu:

$$n_v = \frac{B_p}{k} = \frac{1500}{63,7} \doteq 23,54 \Rightarrow 23 \text{ výstřížků}$$

Počet výstřižků z tabule plechu:

$$n_{vc} = n_p \cdot n_v = 44 \cdot 23 = 1012 \text{ ks}$$

Využití materiálu:

$$k_c = \frac{S_s \cdot n_{vc}}{B_p \cdot L_p} = \frac{2922 \cdot 1012}{1500 \cdot 3000} = 0,6571$$

V procentuálním počtu je využití tabule plechu nastříhané na příčné pruhy 65,71 %.

Využití materiálu při výrobě ze svitku plechu [3]

Volba rozměrů svitku:

Z katalogu výrobce jsou zvoleny rozměry:

šířka: $B_{SV} = 70 \text{ mm}$

vnitřní průměr: $d_{SV} = 500 \text{ mm}$

vnější průměr: $D_{SV} = 1200 \text{ mm}$

Hmotnost svitku:

$$m_{SV} = \frac{\pi \cdot (D_{SV}^2 - d_{SV}^2)}{4} \cdot B_{SV} \cdot \rho_{OCEL} = \frac{\pi \cdot (1200^2 - 500^2)}{4} \cdot 70 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \doteq 513,9 \text{ kg}$$

Délka pásu ve svitku:

$$L_{SV} = \frac{m_{SV}}{B_{SV} \cdot t \cdot \sigma_{OCEL}} = \frac{513,9}{70 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 467\,661,51 \text{ mm}$$

Počet výstřižků ze svitku:

$$n_{VS} = \frac{L_{PS}}{k} = \frac{467\,661}{63,7} = 7\,341,61$$

Vzhledem k tomu, že počet kusů musí vycházet v celých číslech a nelze zaokrouhlit na vyšší hodnotu bude počet výstřižků z jednoho svitku 7 341 ks.

Využití materiálu:

$$k_c = \frac{S_s \cdot n_{VS}}{B_{SV} \cdot L_{SV}} = \frac{2\,912 \cdot 7\,341}{70 \cdot 467\,661} = 0,653$$

V procentuálním vyjádření je celkové využití svitku plechu 65,3 %.

Nejlepšího využití materiálu je dosaženo při použití tabule plechu 1500 x 3000 x 2, z které jsou nastříhány pruhy v podélném směru. Nevýhoda tohoto polotovaru spočívá v nutnosti manipulace s jednotlivými pruhy plechu. Vzhledem k tomu, že využití materiálu ve formě svitku je pouze o 2 % menší, ale odstraňuje problém s manipulací, byl zvolen jako polotovar k výrobě součástí svitek plechu.

Potřebný počet svitků

$$n_s = \frac{Q}{n_{VS}} = \frac{300\,000}{7\,341} = 40,86$$

Na výrobu roční produkce 300 000 ks je potřeba 41 ks svitků.

5.5 Výpočty střížné části nástroje

Výpočet střížné síly

Výpočet střížné síly je prováděn dle kap. 3.2.

Mez pevnosti ve stříhu:

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m = 0,77 \cdot 320 = 246,4 \text{ MPa}$$

Boční posuvový střížník:

$$F_B = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (2 \cdot 63,7 + 2 \cdot 4,6) \cdot 2 \cdot 246,6 = 87\,582 \text{ N}$$

Kruhový střížník:

$$F_{KR} = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (\pi \cdot 5) \cdot 2 \cdot 246,6 = 10\,064 \text{ N}$$

Obdélníkový střížník šířky 30 mm:

$$F_{OB1} = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (2 \cdot 30 + 2 \cdot 33,4) \cdot 2 \cdot 246,4 = 81\,233 \text{ N}$$

Obdélníkový střížník šířky 3,7 mm:

$$F_{OB2} = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (2 \cdot 3,7 + 2 \cdot 40) \cdot 2 \cdot 246,4 = 55\,992 \text{ N}$$

Dělicí střížník šířky 3,7 mm:

$$F_{OB3} = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (2 \cdot 3,7 + 2 \cdot 25,4) \cdot 2 \cdot 246,4 = 37\,285 \text{ N}$$

Celková střížná síla:

$$F_S = F_B + 3 \cdot F_{KR} + F_{OB1} + F_{OB2} + F_{OB3}$$

$$F_S = 87\,582 + 3 \cdot 10\,064 + 81\,233 + 55\,992 + 37\,285 = 292\,284 \text{ N} \doteq 292 \text{ kN}$$

Výpočet střížné práce

Výpočet střížné práce je prováděn dle kap. 3.2. Dle obr. 3.4 je zvolen součinitel plnosti diagramu $\lambda = 0,64$.

Střížná práce:

$$A = \lambda \cdot F_S \cdot t = 0,64 \cdot 292\,284 \cdot 0,002 \doteq 374 \text{ J}$$

Výpočet střížné mezery a střížné vůle

Výpočet střížné mezery a střížné vůle je prováděn dle kap. 3.4. Součinitel závislý na stupni stříhu je zvolen $c = 0,01$.

Střížná mezera:

$$m_s = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k} = 0,32 \cdot 0,01 \cdot \sqrt{246,4} = 0,1 \text{ mm}$$

Střížná vůle:

$$m_s = \frac{v}{2} \Rightarrow v = 2 \cdot m_s = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ mm}$$

Výpočet střižníků [18]

Střižníky je nutno počítat na otláčení, kde σ_{dov} znamená napětí na dosedací ploše střižníku v upínací hlavici. Při napětí větším jak 180 MPa u oceli (90 MPa u litiny) je nutno použít kalenou opěrnou desku (tl. 4 mm) aby nedošlo k omačkání. Jako nejmenší dosedací plocha je zvolena plocha kruhového střižníku.

Dále je nutno kontrolovat střižníky na vzpěr. Nevedený střižník je možno považovat jako na jednom konci vetknutý a na druhém konci volný. Maximální délka všech střižníků je určena jako kritická vzpěrná délka střižníku o nejmenším průřezu.

Kontrola střižníků na otláčení:

Dovolené napětí na dosedací ploše střižníku je zvoleno $\sigma_{\text{dov}} = 180 \text{ MPa}$.

$$\sigma_{\text{dov}} = \frac{F_{\text{KR}}}{S_{\text{d}}} = \frac{10\,064}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} \doteq 200 \text{ MPa} > 180 \text{ MPa}$$

Z výpočtu vyplývá, že je nutno použít kalenou opěrnou desku.

Kontrola střižníků na vzpěr:

Koeficient bezpečnosti je zvolen $n = 1,75$. Moment setrvačnosti „I“ je určen ze vztahu:

$$I = \frac{\pi \cdot D_{\text{sd}}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5^4}{64} \doteq 30,68 \text{ mm}^4$$

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_{\text{KR}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 30,68}{1,75 \cdot 10\,064}} = 84,98 \text{ mm}$$

Výpočet střižnice

Při výpočtu celistvých střižnic je možno střižnice považovat za rovinné desky namáhané ohybem. Pro výpočet minimální tloušťky střižnice je zvolen vztah pro obdélníkovou oboustranně podepřenou střižnici.

Minimální šířka střižnice:

Napětí v ohybu je zvoleno $\sigma_0 = 500 \text{ MPa}$.

$$H = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_S}{\sigma_0}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 204\,702}{500}} = 31,99 \text{ mm}$$

5.6 Výpočet ohýbací části nástroje

Výpočet ohýbací síly

Výpočet ohýbací síly je prováděn dle kap. 4.6.

Síla pro předechnutí:

$$F_{\text{ov}} = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \frac{\text{tg } \alpha^\circ}{2} = \frac{15 \cdot 2^2 \cdot 280}{2 \cdot 4} \cdot \frac{\text{tg } 30^\circ}{2} = 606 \text{ N}$$

Síla pro zakružování:

$$F_Z = \frac{0,7 \cdot t^2 \cdot b \cdot R_m}{d_z} = \frac{0,7 \cdot 2^2 \cdot 30 \cdot 320}{12} = 2240 \text{ N}$$

Celková ohýbací síla:

$$F_{CO} = 2 \cdot F_{OV} + F_Z = 2 \cdot 606 + 2240 = 3452 \text{ N}$$

Výpočet ohýbací práce

Výpočet ohýbací práce je prováděn dle kap. 4.6.

Práce při předechnutí:

$$A_{OV} = m \cdot F_{OV} \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 606 \cdot 0,0075 = 1,515 \text{ J}$$

Práce při zakružování:

$$A_{OZ} = m \cdot F_Z \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 3452 \cdot 0,027 = 31,068 \text{ J}$$

Celková ohýbací práce:

$$A_{CO} = 2 \cdot A_{OV} + A_{OZ} = 2 \cdot 1,515 + 0,675 \doteq 34 \text{ J}$$

Stanovení vůle mezi ohybníkem a ohybnicí

Výpočet vůle mezi ohybníkem a ohybnicí se provádí dle kap. 4.8.2. Součinitel vlivu tření ohýbaného plechu o ohybnici je zvolen $c = 0,1$.

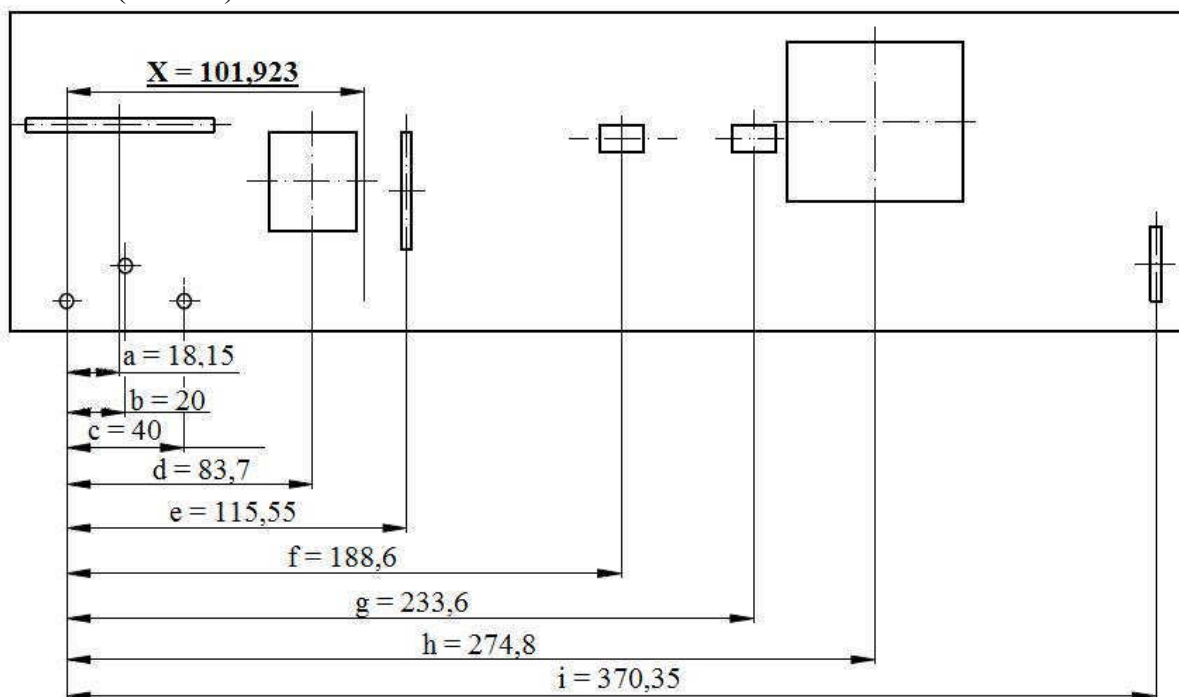
$$v = (t \div t_{\max}) + t \cdot c = 2 + 2 \cdot 0,1 = 2,2 \text{ mm}$$

5.7 Poloha stopky

Pro připevnění upínací hlavice nástroje k beranu lisu je použito upínací stopky, která je umístěna v těžišti ohýbacích a střízných sil.

Poloha stopky v ose „x“

Početni stanovení polohy těžiště ohýbacích a střízných sil je prováděno dle kap. 3.6. Poloha těžiště v ose „x“ je stanovena jako vzdálenost „X“ měřena od osy prvního kruhového střížníku (obr. 5.9).



Obr. 5.9 Poloha těžiště v ose „x“ – rozměry v [mm]

$$\sum F \cdot x = F_{kr} \cdot 0 + F_B \cdot a + F_{KR} \cdot b + F_{KR} \cdot c + F_{OB1} \cdot d + F_{OB2} \cdot e + F_{OV} \cdot f + F_{OV} \cdot g + \\ + F_Z \cdot h + F_{OB3} \cdot i$$

$$\sum F \cdot x = 10\,064 \cdot 0 + 87\,582 \cdot 18,15 + 10\,064 \cdot 20 + 10\,064 \cdot 40 + 81\,233 \cdot 83,7 + \\ + 55\,992 \cdot 115,55 + 606 \cdot 188,6 + 606 \cdot 233,6 + 2240 \cdot 274,8 + \\ + 37\,285 \cdot 370,35$$

$$\sum F \cdot x = 30\,142\,435,95 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sum F = 3 \cdot F_{KR} + F_B + F_{OB1} + F_{OB2} + 2 \cdot F_{OV} + F_Z + F_{OB3}$$

$$\sum F = 3 \cdot 10\,064 + 87\,582 + 81\,233 + 55\,992 + 2 \cdot 606 + 2\,240 + 37\,285 \text{ N}$$

$$\sum F = 295\,736 \text{ N}$$

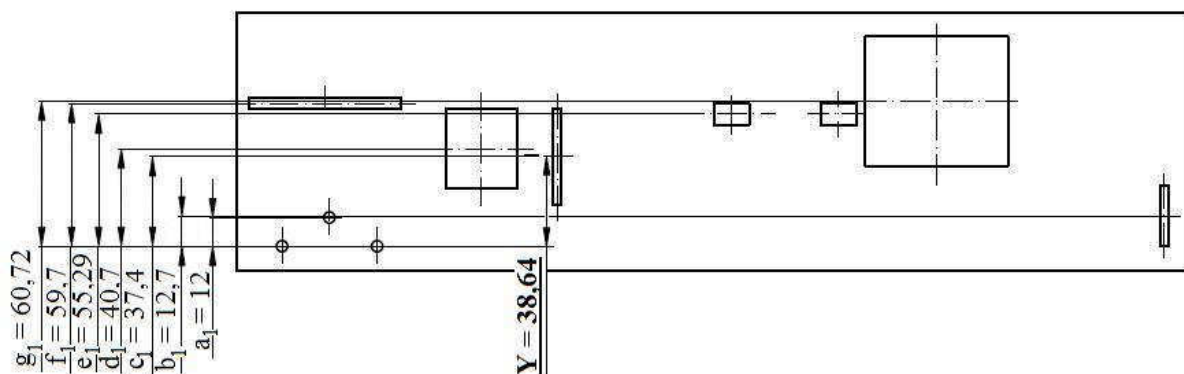
$$X = \frac{\sum F \cdot x}{\sum F}$$

$$X = \frac{30\,142\,435,95}{295\,736}$$

$$X = 101,923 \text{ mm}$$

Poloha stopky v ose „y“

Obdobným způsobem jako v ose „x“ je řešena poloha těžiště v ose „y“. Jeho vzdálenost „Y“ je měřena opět k ose prvního kruhového střížníku (obr. 5.10).



Obr. 5.10 Poloha těžiště v ose „y“

$$\sum F \cdot y = F_{KR} \cdot 0 + F_{KR} \cdot 0 + F_{KR} \cdot a_1 + F_{OB3} \cdot b_1 + F_{OB2} \cdot c_1 + F_{OB1} \cdot d_1 + F_{OV} \cdot e_1 + \\ + F_{OV} \cdot e_1 + F_B \cdot f_1 + F_Z \cdot g_1$$

$$\sum F \cdot y = 10\,064 \cdot 0 + 10\,064 \cdot 0 + 10\,064 \cdot 12 + 37\,285 \cdot 12,7 + 55\,992 \cdot 37,4 + \\ + 81\,233 \cdot 40,7 + 606 \cdot 55,29 + 606 \cdot 55,29 + 87\,582 \cdot 59,7 + 2\,240 \cdot 60,72$$

$$\sum F \cdot y = 11\,426\,241,08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sum F = 3 \cdot F_{KR} + F_B + F_{OB1} + F_{OB2} + F_{OB3} + 2 \cdot F_{OV} + F_Z$$

$$\sum F = 3 \cdot 10\,064 + 87\,582 + 81\,233 + 55\,992 + 37\,285 + 2 \cdot 606 + 2\,240$$

$$\sum F = 295\,736 \text{ N}$$

$$Y = \frac{\sum F \cdot y}{\sum F}$$

$$Y = \frac{11\,426\,241,08}{295\,736}$$

$$Y = 38,64 \text{ mm}$$

5.8 Volba stroje [30]

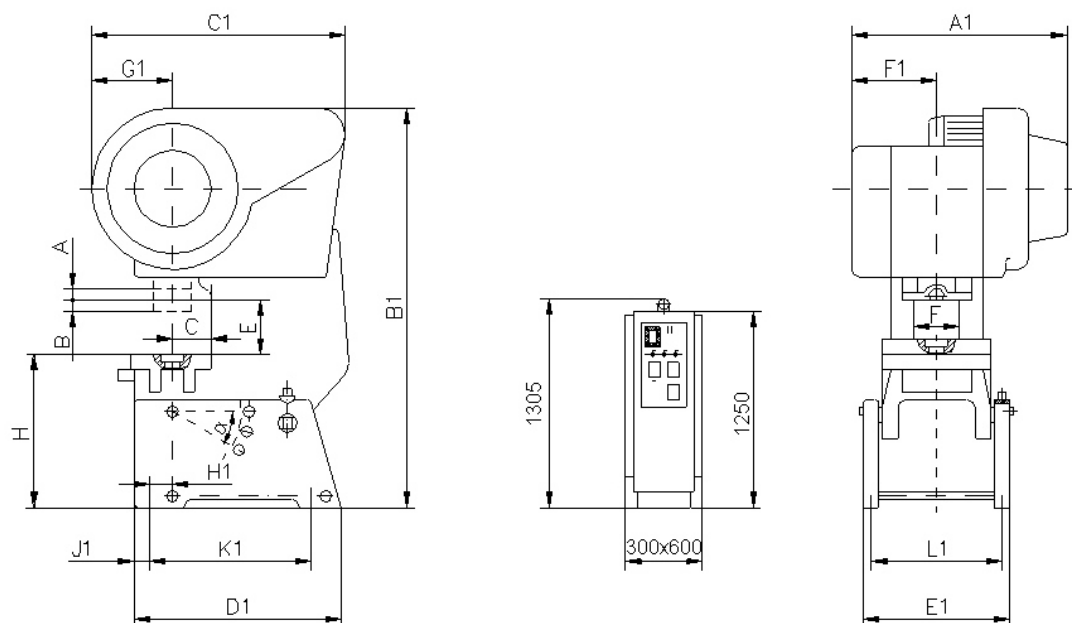
Celková tvářecí síla

$$F_C = F_S + F_{CO} = 292\,284 + 3\,452 = 295\,736 \text{ N} \doteq 296 \text{ kN}$$

Volba stroje

Vzhledem k výsledné celkové tvářecí síle je pro výrobu součástí vybrán lis LEN 40 C (obr. 5.12) slovenského výrobce TOMA INDUSTRIES s.r.o. Trnava.

Jedná se o výstředníkový lis určený pro všechny procesy lisování za studena jako je stříhání, vystřihování, děrování, ostřihování, ražení, ohýbání, mělké tažení atd. Pohon lisu zabezpečuje přepínatelný dvojotáčkový elektromotor, což umožňuje volit počet zdvihů beranu podle technologické potřeby. Mezi hlavní přednosti lisu patří měnitelnost velikosti zdvihu, možnost přestavení beranu, přesné prodloužené samomazné vedení beranu, valivé uložení výstředníkové hřídele a ojnice a možnost použití mechanizačního a automatizačního příslušenství. Schéma lisu je znázorněno na obr. 5.11.



Obr. 5.11 Schéma lisu [30]

Tab. 5.1 Základní technické parametry lisu [30]

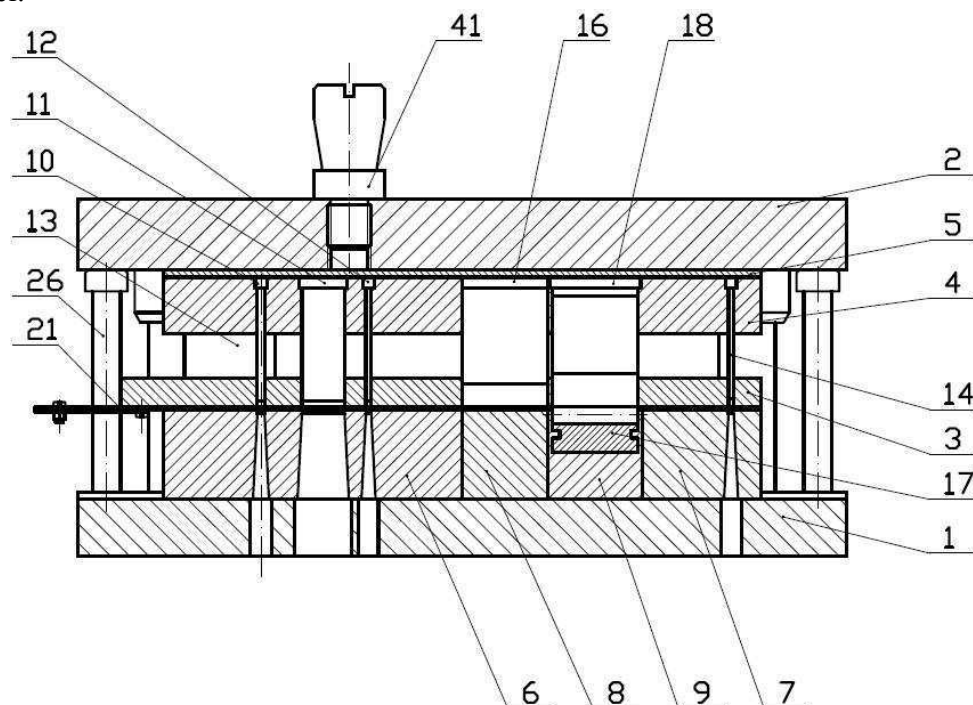
Jmenovitá síla	400	[kN]
Využitelný počet zdvihů	35	[min ⁻¹]
Maximální tloušťka plechu	6,4	[mm]
Stavitelnost zdvihu „A“	8 až 95	[mm]
Stavitelnost beranu „B“	60	[mm]
Vyložení „C“	265	[mm]
Sevření „E“	295	[mm]
Průchod „F“	300	[mm]
Rozměr „H“	800	[mm]
Rozměr „A1“	1250	[mm]
Rozměr „B1“	2370	[mm]
Rozměr „C1“	1585	[mm]
Rozměr „D1“	1220	[mm]
Rozměr „E1“	830	[mm]
Sklopení stojanu „α“	0°, 15°, 30°	[°]
Hmotnost lisu	4500	[kg]
Příkon elektromotoru	10	[kW]



Obr. 5.12 Lis LEN 40 C [30]

5.9 Popis nástroje

Sdružený postupový nástroj je sestaven tak, že umožňuje kompletní výrobu dané součásti za použití technologií stříhání a ohýbání. Součást je v něm vyrobena v šesti krocích. Schéma konstrukce nástroje je znázorněno na obr. 5.13. Pro lepší přehlednost je na obr. 5.14 zobrazen 3D model.



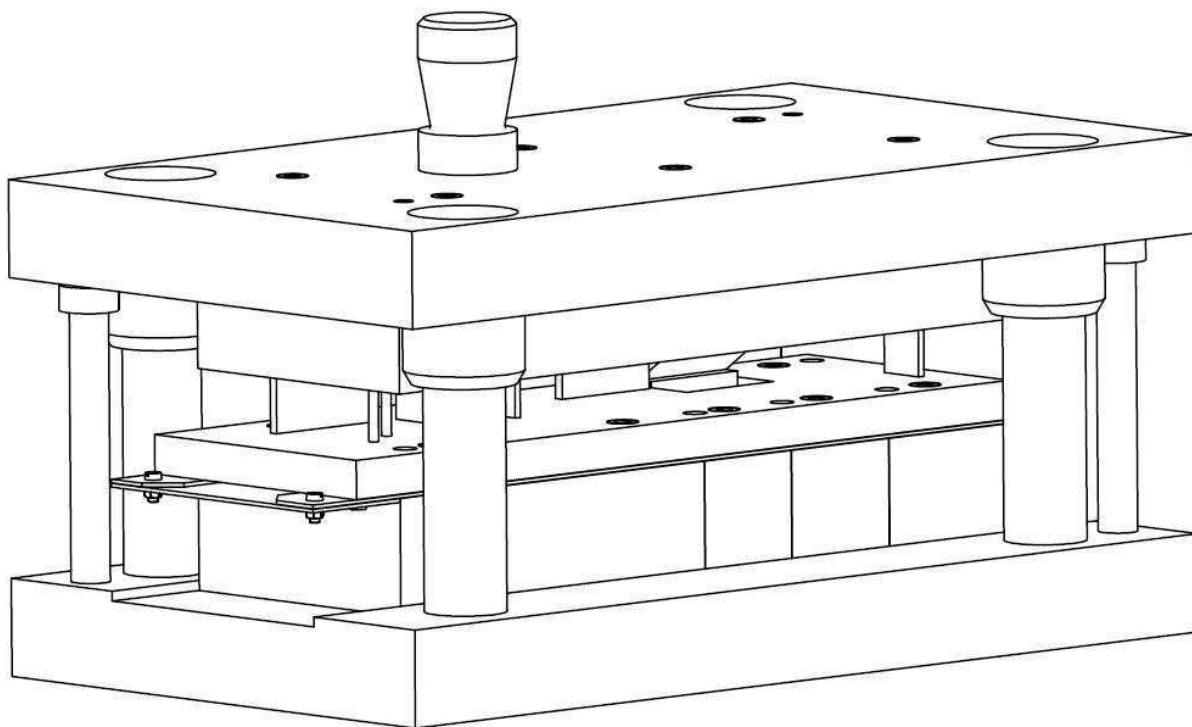
Obr. 5.13 Schéma nástroje

Vedení nástroje je zajištěno pomocí čtyřech vodících sloupků, které jsou zalisovány v základní desce (1). Horní upínací deska (2) je po těchto sloupcích vedena pomocí vodících pouzder, která jsou na ní zalisována. Z důvodu zamezení vzniku chyby při montáži nástroje mají levé a pravé vodící sloupky rozdílné průměry.

V horní části nástroje jsou umístěny tři kruhové střížníky (10), tři obdélníkové (11, 12, 14) a boční ostříhovací nůž (13). K upínací desce jsou připevněny pomocí osazení a z vrchu jsou opřeny o kalenou opěrnou desku (5). Stejným způsobem je zde ukotven ohybník (16) a klín (18), který slouží k řízení pohybu zakružovací čelisti (17). Vzájemná poloha kotevní desky a upínací desky je zajištěna pomocí kolíků a jejich pevné spojení je zabezpečeno pomocí šroubů. Na vrchní straně upínací desky je umístěna stopka (41), která slouží k upnutí horní části nástroje do beranu lisu. Její poloha se nachází přímo v těžišti střížných a ohýbacích sil, čímž je zamezeno vzniku klopného momentu, který nepříznivě zatěžuje nástroj i beran lisu.

Ve spodní části nástroje je umístěna základová deska, na které jsou zalisovány dva přepravní dorazy (26). Dále jsou k ní připevněny střížnice (6,7) konstruovány jako celistvé, ohybnice (8) a vedení pro zakružovací čelist (9). Zakružovací čelist (17) se pohybuje ve směru kolmém na směr posuvu plechu. Její navrácení do výchozí polohy je zajištěno pomocí pružiny. Pás plechu je veden pomocí dvou vodících lišt, na kterých je položena vodící deska (3), která umožňuje přesné vedení střížníků

Přesná délka kroku je zajištěna bočním ostříhovacím nožem a přesnou polohu plechu vymezuje hledáček. Hotová součást je odstřížena v posledním kroku a usměrněna skluzem mimo nástroj.



Obr 5.14 3D Model nástroje

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [13]

Účelem technicko-ekonomického zhodnocení je zjistit náklady na výrobu jedné součásti a následně určit, od jakého množství vyrobených kusů se výroba stává ziskovou. Plánovaná velikost roční produkce je stanovena na 300 000 ks. V technické kalkulaci jsou jednotlivé kalkulační položky vyjádřeny v technických měrných jednotkách.

Celkové náklady na výrobu součásti se skládají z jednotlivých dílčích nákladů, mezi které patří náklady na materiál, náklady na mzdy a režii, náklady na spotřebovanou energii a náklady na výrobu nástroje. Náklady na pořízení nového stroje nejsou v této kalkulaci obsaženy – vychází se z předpokladu, že stroj je již majetkem firmy a není součástí odpisů.

Náklady na materiál [8]

Dle kap. 5.4 je jako výchozí polotovár zvolen svítek plechu o hmotnosti $m_{SV} = 513,9$ kg. K výrobě 300 000 kusů je zapotřebí $n_S = 41$ svítek.

Celková hmotnost svítek:

$$m_{CS} = m_{SV} \cdot n_S = 513,9 \cdot 41 \doteq 21\,069,9 \text{ kg}$$

Náklady na nákup svítek:

$$N_M = m_{CS} \cdot C_M = 21\,069,9 \cdot 29,22 \doteq 615\,662,48 \text{ Kč}$$

Hmotnost jedné součásti:

$$m_{SOU} = S_{SOU} \cdot t \cdot \rho_{OCEL} = 2\,874,88 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \doteq 0,045 \text{ kg}$$

Celková hmotnost součástí:

$$m_{CSOU} = m_{SOU} \cdot Q = 0,045 \cdot 300\,000 \doteq 13\,500 \text{ kg}$$

Celková hmotnost odpadu:

$$m_{CO} = m_{SC} - m_{CSOU} = 21\,069,9 - 13\,500 \doteq 7\,569,9 \text{ kg}$$

Zhodnocení odpadu [1]:

Cena zhodnocení odpadového materiálu je stanovena $C_{ZO} \doteq 3,1$ Kč/kg

$$z_O = m_{CO} \cdot C_{ZO} = 7\,569,9 \cdot 3,1 \doteq 23\,466,69 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na materiál:

$$N_{CM} = N_M - z_O = 615\,662,48 - 23\,466,69 \doteq 592\,195,79 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál jedné součásti:

$$N_{M1} = \frac{N_{CM}}{Q} = \frac{592\,195,79}{300\,000} \doteq 1,97 \text{ Kč/ks}$$

Náklady na mzdy

Při výpočtu nákladů na mzdy je uvažována pracovní doba dlouhá 7,5 hod, která je rozdělena do tří fází a to:

$t_p = 0,5$ hod – přípravný čas

$t_v = 6,5$ hod – výrobní čas

$t_k = 0,5$ hod – kontrolní čas

Počet vyrobených součástí za hodinu:

Počet zdvihů lisu je zvolen $n_Z = 20 \text{ min}^{-1}$.

$$n_{SH} = n_Z \cdot 60 = 20 \cdot 60 = 1\,200 \text{ ks/hod.}$$

Počet vyrobených součástí za směnu:

$$n_{SS} = n_{SH} \cdot t_v = 1\,200 \cdot 6,5 = 7\,800 \text{ ks/směnu}$$

Počet směn:

$$n_{SM} = \frac{Q}{n_{SS}} = \frac{300\,000}{7\,800} = 38,46$$

Na produkci 300 000 ks je potřeba 39 směn.

Počet hodin potřebných na výrobu:

$$n_H = n_{SM} \cdot (t_p + t_v + t_k) = 39 \cdot (0,5 + 6,5 + 0,5) = 292,5 \text{ hod.}$$

Přímé náklady na mzdy [25]:

Mezi přímé náklady na mzdy jsou započítány mzdy výrobních dělníků za odpracovaný čas, které souvisejí s výkonem. Hodinová mzda je stanovena na 130 Kč/hod.

$$N_{PMZ} = n_H \cdot w = 292,5 \cdot 130 = 38\,025 \text{ Kč}$$

Ostatní přímé náklady na mzdy:

V ostatních přímých nákladech je zahrnuto zdravotní a sociální pojištění hrazené zaměstnavatelem, jehož výše je v ČR stanovena na 9 % a 25 %.

$$K_P = 0,09 + 0,25 = 0,34$$

$$N_{OPMZ} = K_P \cdot N_{PMZ} = 0,34 \cdot 38\,025 = 12\,928,5 \text{ Kč}$$

Celkové přímé náklady na mzdy:

$$N_{CPMZ} = N_{PMZ} + N_{OPMZ} = 38\,025 + 12\,928,5 = 50\,953,5 \text{ Kč}$$

Náklady na spotřebovanou energii

Příkon lisu: $P_L = 10 \text{ kW}$

Příkon ostatních přídavných zařízení: $P_{PZ} = 5 \text{ kW}$

Celkový příkon strojů:

$$P_C = P_L + P_{PZ} = 10 + 5 = 15 \text{ kW}$$

Náklady na spotřebovanou energii:

Cena elektrické energie $C_{EL} = 4,2 \text{ Kč/kWh}$.

$$N_{EL} = P_C \cdot n_H \cdot C_{EL} = 15 \cdot 292,5 \cdot 4,2 = 18\,427,5 \text{ Kč}$$

Režijní náklady [21], [27]

Režijní neboli nepřímé náklady jsou společné pro celou výrobu všech výrobků nebo šířeji pro celý podnik. Patří sem například odpisy dlouhodobého majetku, mzdy režijních pracovníků (vedoucí výroby), ale i mzdy administrativního aparátu podniku. Tyto náklady obvykle nelze přímo přiřadit na kalkulační jednici, a proto se využívá různých metod,

například prostá kalkulace dělením, přírážková kalkulace či kalkulace s poměrovými čísly. Předběžná kalkulace režijních nákladů vychází obvykle z rozpočtů režijních nákladů.

Výše režijních nákladů je stanovena:

- výrobní režie 110 % => $V_R = 1,1$
- správní režie 80 % => $S_R = 0,8$

$$N_R = (V_R + S_R) \cdot N_{CPMZ} = (1,1 + 0,8) \cdot 50\,935,5 = 96\,777,45 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na mzdy:

$$N_{CMZ} = N_{CPMZ} + N_R = 50\,935,5 + 96\,777,45 = 147\,712,95 \text{ Kč}$$

Náklady na nástroj

Náklady na výrobu nástroje jsou určeny s přihlédnutím k podobným nástrojům, které jsou na trhu k dispozici. Vychází se z předpokladu, že výrobce nemá k dispozici vlastní nástrojárnu a bude muset využít služeb jiné firmy. To se promítne na konečné ceně nástroje, která bude navýšena o zisk dodavatele a náklady na dopravu. Výsledná cena nástroje je tedy stanovena na:

$$N_N = 350\,000 \text{ Kč.}$$

Cena součásti

Pro stanovení ceny součásti je použita metoda „COST PLUS PRICING“, kde je výsledná cena stanovena na základě vypočtených nákladů na jednotku navýšena o firmou požadovanou ziskovou přírážku.

Náklady na výrobu jedné součásti:

$$N_{V1} = \frac{N_{CMZ} + N_N}{Q} + N_{M1} = \frac{147\,712,95 + 350\,000}{300\,000} + 1,97 = 3,63 \text{ Kč/ks}$$

Celková cena jedné součásti:

Na jedné součásti je počítáno se ziskem 40 %. => $K_Z = 1,4$

$$C_C = N_{V1} \cdot K_Z = 3,63 \cdot 1,4 = 5,08 \text{ Kč}$$

Stanovení bodu zvratu [11], [31]

Bod zvratu je takové množství produkce firmy, při kterém nevzniká žádný zisk ani ztráta. Analýza bodu zvratu vychází z kapacitního členění nákladů na fixní a variabilní a slouží především ke zjištění kritického množství produkce, minimální prodejní ceny a maximálních přípustných nákladů. Cílem výrobce je produkovat zisk, a proto se musí pohybovat s objemem produkce nad tímto bodem.

Fixní náklady: [32]

Fixní náklady jsou takové náklady, které se se změnou objemu výroby nemění. Firma je musí vynakládat při každém (tedy i nulovém) objemu výroby. Fixní náklady zpravidla nelze měnit v krátkých časových obdobích. Jako příklad je možno uvést odpisy budov a strojního vybavení, náklady na vytápění a osvětlení budov, náklady na ostrahu podniku atd.

$$FN = N_N + N_{CMZ} - N_{CPMZ} = 350\,000 + 147\,712,95 - 50\,935,5 = 446\,777,45 \text{ Kč}$$

Variabilní náklady:

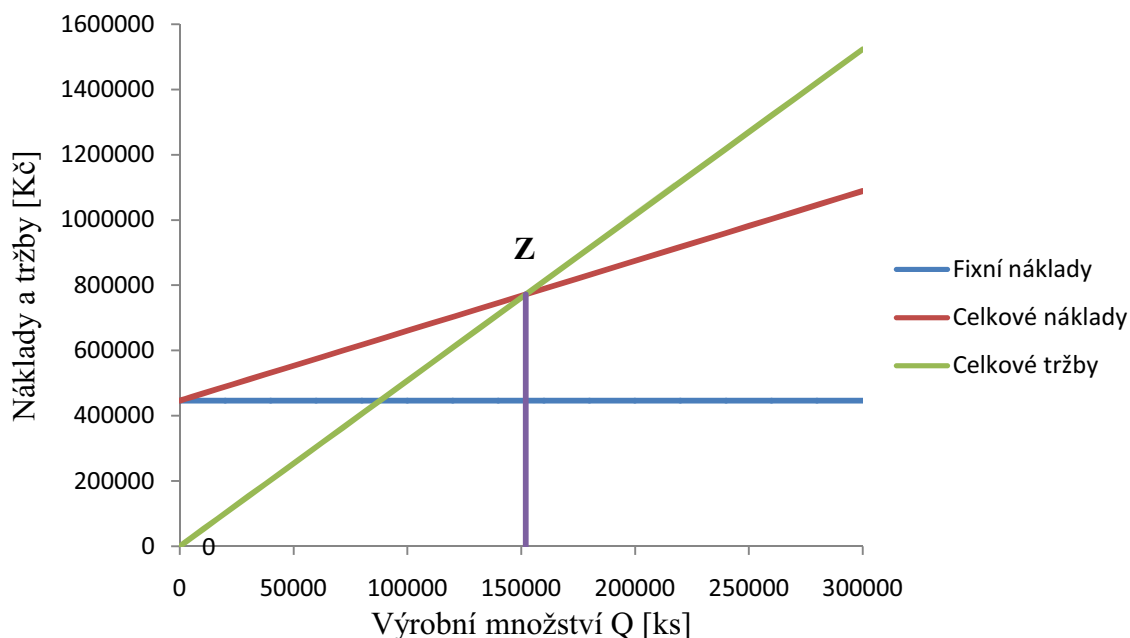
Variabilní náklady jsou náklady, které se se změnou objemu výroby mění. Jsou zde zahrnuty například přímé mzdy, náklady na přímý materiál a energie bezprostředně vynaložené na zhotovení výrobku. Tyto náklady se s objemem produkce mohou měnit lineárně nebo nelineárně (progresivně nebo regresivně)

$$VN = N_{M1} + \frac{N_{CPMZ}}{Q} = 1,97 + \frac{50\,935,5}{300\,000} = 2,14 \text{ Kč/ks}$$

Bod zvratu:

$$Z = \frac{FN}{C_C - VN} = \frac{446\,777,45}{5,08 - 2,14} = 151\,965,12 \text{ ks}$$

Při vyrobení 151 966 ks součástí nastává bod zvratu „Z“ a produkcí dalších kusů je zajištěn zisk. Plánovaná produkce výroby je 300 000 ks, z čehož vyplývá, že navržená technologie je z ekonomického hlediska efektivní. Na obr. 7.1 jsou v přehledném grafu znázorněny přímky „fixních nákladů“, „celkových nákladů“ a „celkových tržeb“. Průsečík „Z“ přímek „celkové náklady“ a „celkové tržby“ označuje bod zvratu.



Obr. 7.1 Bod zvratu „Z“

8 ZÁVĚRY

Vyráběná součást - pant je prostorového tvaru s otvory, na jedné straně zakroužena do úhlu 310° , vyráběna z ocelového plechu 11 321 tloušťky 2 mm v sérii 300 000 ks za rok. Její délka v rozevřeném stavu je 115 mm, šířka v nejširším místě přibližně 70 mm a nejsou na ni kladeny žádné zvýšené nároky na geometrickou přesnost ani jakost povrchu. Výroba je realizována v postupovém sdruženém nástroji kombinací stříhání a ohýbání se zakružováním.

Konstrukce nástroje je řešena formou vodícího stojánku s pevnou vodící deskou, která složí k vedení střížníků a ohybníku umístěných v horní části nástroje. Výchozí polotovar je zvolen ve formě svitku, který prochází skrz odvíjecí a rovnací zařízení až mezi vodící lišty nástroje. Správná vzdálenost kroku je zajištěna pomocí bočního ostříhovacího nože a správné usazení polotovaru v nástroji pomocí hledáčku. Součást je vyráběna postupně v šesti krocích, přičemž je až do posledního kroku spojena úzkou přepážkou. Na základě technologických výpočtů je pro nástroj zvolen vhodný stroj, kterým je výstředníkový lis LEN 40 C od firmy TOMA INDUSTRIES s.r.o., Tmava.

V technicko-ekonomickém hodnocení jsou vypočteny náklady na výrobu jednoho kusu, přičemž je uvažováno se ziskem 40 %. Po vyrobení 151 966 ks, tedy přibližně v půlce roční produkce, nastává bod zvratu a výrobou dalších kusů je produkován zisk, z čehož vyplývá, že zvolená technologie výroby je vhodná.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Alfašrot: Kovošrot, ekologická likvidace odpadů* [online]. 2010 [cit. 2011-05-22]. Ceník železného šrotu. Dostupné z WWW: <<http://www.alfasrot.cz/cenik-zelezného-srotu/>>.
2. BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1971. 542 s.
3. BLAŽEK, Petr. *NOVÁ HUŤ - Válcovna za studena spol. s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2011-05-22]. Katalog pásové oceli válcované za studena. Dostupné z WWW: <http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/katalog_cz.pdf>.
4. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. 213 s.
5. *DŘEZY/VODOVODNÍ BATERIE* [online]. 2008 [cit. 2011-05-22]. Dřezy kuchyňské Pyramis. Dostupné z WWW: <<http://www.ironstyl.cz/kovani/eshop/53-1-DREZY-VODOVODNI-BATERIE/245-2-Drezy-kuchynske-Pyramis>>.
6. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ* [online]. 2006 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm>.
7. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a František NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
8. *Ferona: Velkoobchod hutním materiálem* [online]. 2004, 2011 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/order.php?action=show>>.
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
10. *Feromat.cz: hutní a spojovací materiál* [online]. 1997 [cit. 2011-05-09]. Jakosti ocelí. Dostupné z WWW: <http://www.feromat.cz/jakosti_oceli>.
11. *Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví: členění nákladů, analýza bodu zvratu* [online]. Praha: 2008 [cit. 2011-05-22]. Náklady v podniku. Dostupné z WWW: <http://eko.fsv.cvut.cz/cz/predmety/126mma1/mma1_6-naklady.pdf>.
12. KOTOUČ, Jiří et al. *Tvářecí nástroje*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
13. KRUTINA, Václav a Martina NOVOTNÁ. *Ekonomika podniku*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2004. 112 s. ISBN 80-7040-732-8.
14. LEINVEBER, Jan, Pavel VÁVRA a Jaroslav ŘASA. *Strojnické tabulky*. 3. doplněné vydání. Praha: Scientiea, spol. s.r.o. pedagogické nakladatelství, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
15. LENFELD, Petr. *Technologie II: tváření kovů, zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2005 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp>.
16. MATIASOVITS, Petr. *Autodeskclub.cz* [online]. 26.11.2010 [cit. 2011-05-09]. Jak na plechy v Inventoru?. Dostupné z WWW: <<http://www.autodeskclub.cz/clanek/5395-jak-na-plechy-v-inventoru-cast-1>>.

17. *Normy ČSN - Bezpečnostní tabulky* [online]. 2005 [cit. 2011-05-09]. Náhled normy ČSN 41 1321. Dostupné z WWW: <http://www.technicke-normy-csn.cz/inc/nahled_normy.php?norma=%28411321%29-CSN-41-1321&kat=27312>.
18. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Vyd. 1. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
19. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER: *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*; Redakce báňské a strojírenské literatury; 1. vyd. L 13-B3-IV- 41/22674; SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p.; 1980; 216 str.
20. *Nyprohutni.cz: Váš dodavatel hutního materiálu ... již 20 let* [online]. 1998 [cit. 2011-05-09]. Ocelové plechy válcované za studena . Dostupné z WWW: <<http://www.nyprohutni.cz/sortiment/plechy/valcovane-za-studena>>.
21. *Obchodní akademie Karviná, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2011-05-22]. Kalkulace 1. Dostupné z WWW: <www.obaka-karvina.cz/files/eko04.ppt>.
22. ROMANOVSKIJ, V. *Příručka pro lisování za studena*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1959. 540 s. L13-E14-III/2395.
23. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12. května 2008 [cit. 2011-05-23]. Nekonenční metody obrábění. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-5-dil>>.
24. *Strojárska technológia* [online]. 2009 [cit. 2011-05-22]. Operácie strihania – rozdelenie a princíp. Dostupné z WWW: <<http://www.strojarskatechnologia.info/14-operacie-strihania-rozdelenie-a-princip/>>.
25. *Střední odborná škola dopravy a cestovního ruchu* [online]. 2000 [cit. 2011-05-22]. Kalkulace nákladů. Dostupné z WWW: <<http://www.sos-dcr.cz/vyuka/ucetnictvi/kalkulace.htm>>.
26. *Technologie tváření - klasická technika* [online]. 2005 [cit. 2011-02-14]. AB Komponenty. Dostupné z WWW: <<http://www.abkomponenty.cz/produkty-klasicke-tvareni.html>>.
27. *Testy z účetnictví* [online]. 2006 [cit. 2011-05-22]. Slovníček účetních pojmů. Dostupné z WWW: <<http://www.testyzucetnictvi.cz/slovnicek-ucetnich-pojmu.php?pojem=kalkulace>>.
28. *Urbania s.r.o.: městský mobiliář* [online]. 2010 [cit. 2011-05-22]. Ochranná mříž TAULAT A29A - 1500x1500. Dostupné z WWW: <<http://www.urbania.cz/ochranna-mriz-taulat-a29a-1500x1500-13825.html>>.
29. VANČURA, Martin. *Konstrukteri.eu* [online]. 22.9.2008 [cit. 2011-05-09]. Tabulka srovnání ocelí podle ČSN 11 xxx. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukteri.eu/?q=node/116>>.
30. *Výroba tvárniacej techniky* [online]. 2006 [cit. 2011-05-22]. TOMA INDUSTRIES s.r.o. Dostupné z WWW: <http://www.toma.sk/vyrprog_produkty_vyslisy_len.htm>.
31. *Vysoká škola finanční a správní* [online]. 2005 [cit. 2011-05-22]. Bod zvratu a plánování výrobních kapacit. Dostupné z WWW: <http://is.vsfs.cz/el/6410/leto2005/BP_MUc/MU_Bod_zvratu.pdf?fakulta=6410;obdobi=11;kod=BP_MUc>.
32. *Ekonomie - otázky* [online]. 2000 [cit. 2011-05-24]. Fixní náklady (FC). Dostupné z WWW: <<http://ekonomie-otazky.studentske.cz/2009/02/fixni-naklady-fc.html>>.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
A	střížná práce	[J]
A ₈₀	tažnost	[%]
A _{CO}	celková ohýbací práce	[J]
A _{OU}	práce síly při ohybu do „U“	[J]
A _{OV}	práce síly při ohybu do „V“	[J]
A _{OZ}	práce při zakružování	[J]
B	šířka pruhu nebo pásu	[mm]
B _p	šířka tabule plechu	[mm]
B _{SV}	šířka svitku	[mm]
b	šířka přepážky	[mm]
b ₀	šířka ohýbané součásti	[mm]
C _C	celková cena součásti	[Kč]
C _{EL}	cena elektrické energie	[Kč/kWh]
C _M	cena materiálu	[Kč]
C _{ZO}	cena zhodnocení odpadového materiálu	[Kč/kg]
c	šířka okraje stříhaného bočním nožem	[mm]
D	jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
D _S	jmenovitý rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
D _{sd}	jmenovitý rozměr střížnice při děrování	[mm]
D _{SV}	velký průměr svitku	[mm]
d	jmenovitý rozměr děrovaného otvoru	[mm]
d _k	jmenovitý rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
d _{kd}	jmenovitý rozměr střížníku při děrování	[mm]
d _{s2}	průměr osazení u střížníku průměru 5 mm	[mm]
d _{SV}	malý průměr svitku	[mm]
d _z	vnější průměr zakružované části	[mm]
E	modul pružnosti $E = 2,01 \cdot 10^5$	[MPa]
F _{KR}	střížná síla u kruhového střížníku	[N]
FN	fixní náklady	[Kč]
F _{OB1}	střížná síla u obdélníkového střížníku šířky 30 mm	[N]
F _{OB2}	střížná síla u obdélníkového střížníku šířky 3,7 mm	[N]
F _{OB3}	střížná síla u střížníku přepážky šířky 3,7 mm	[N]
F _{OU}	síla při ohybu do „U“	[N]
F _{OV}	síla při ohybu do „V“	[N]
F _P	síla přidržovače	[N]
F _S	střížná síla	[N]
F _{Smax}	maximální střížná síla	[N]
f	součinitel tření	[-]
h	pracovní zdvih	[mm]
h _{e1}	hloubka elastického vniknutí střížníku	[mm]
h _{pl}	hloubka plastického vniknutí střížníku	[mm]
h _s	hloubka vniknutí střížných hran	[mm]
h _v	výška výstřížku	[mm]
I	kvadratický moment	[mm ⁴]
K _P	procentuální vyjádření výše pojistného	[-]

K_Z	procentuální vyjádření zisku	[-]
k	velikost kroku	[mm]
k_1	součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na R_0/t	[-]
k_c	celkový součinitel využití materiálu	[-]
k_s	střížný odpor	[MPa]
k_s	počet kusů	[-]
L	délka křivky stříhu	[mm]
L_C	celková délka výchozího polotovaru	[mm]
L_p	délka pruhu nebo pásu včetně koncových odpadů	[mm]
L_p	délka tabule plechu	[mm]
L_{SV}	délka pásu ve svitku	[mm]
l	šířka ohybnice	[mm]
l_0	délka ohnutého úseku v neutrální ploše	[mm]
l_1	rozvinutá délka ohybu „ p_1 “	[mm]
l_{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
l_p	délka pásu	[mm]
l_u	vzdálenost mezi opěrami ohybnice při ohybu do „U“	[mm]
l_v	délka výstřižku	[mm]
l_v	vzdálenost mezi opěrami ohybnice při ohybu do „V“	[mm]
m	koefficient zaplnění grafu	[-]
m_{CO}	celková hmotnost odpadu	[kg]
m_{CS}	celková hmotnost svitků	[kg]
m_{CSOU}	celková hmotnost součástí	[kg]
m_s	střížná mezera	[mm]
m_{SOU}	hmotnost součástí	[kg]
m_{SV}	hmotnost svitku	[kg]
N_{CM}	celkové náklady na materiál	[Kč]
N_{CPMZ}	celkové přímé mzdy	[Kč]
N_{EL}	náklady na spotřebovanou elektrickou energii	[Kč]
N_M	náklady na nákup svitků	[Kč]
N_{M1}	náklady na materiál jedné součásti	[Kč/ks]
N_N	náklady na nástroj	[Kč]
N_{OPMZ}	ostatní přímé náklady	[Kč]
NP	neutrální plocha	[mm ²]
N_{PMZ}	přímé náklady na mzdy	[Kč]
N_{V1}	náklady na výrobu jedné součásti	[Kč/ks]
n	zvyšující koeficient, zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání	[-]
n_b	součinitel bezpečnosti	[-]
n_H	počet hodin potřebných na výrobu	[-]
n_p	počet pruhů z tabule plechu	[-]
n_s	počet svitků	[-]
n_{SH}	počet součástí vyrobených za hodinu	[ks/hod]
n_{sm}	počet směn	[-]
n_{SS}	počet součástí vyrobených za směnu	[ks/směna]
n_{SV}	počet výstřižků ze svitku	[-]
n_{SOU}	počet součástí	[-]
n_v	počet výstřižků z jednoho pruhu plechu	[-]
n_{vc}	počet výstřižků z tabule plechu	[-]
n_Z	počet zdvihů za minutu	[min ⁻¹]
P_C	celkový příkon strojů	[kW]
P_k	výrobní tolerance střížníku	[mm]

P_L	příkon lisu	[kW]
P_{PZ}	příkon všech přidavných zařízení	[kW]
P_s	výrobní tolerance střížnice	[mm]
P_u	dovolená úchylka výrobku	[mm]
Q	počet vyráběných kusů	[-]
Re	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
R_O	poloměr ohybu	[mm]
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
S	plocha střížníku	[mm ²]
S_d	jmenovitá dosedací plocha	[mm ²]
S_R	procentuální vyjádření správních režijních nákladů	[-]
S_s	plocha součásti bez otvorů	[mm ²]
S_{SOU}	obsah součásti	[mm ²]
t	tloušťka plechu	[mm]
t_k	kontrolní čas	[hod]
t_{max}	největší tloušťka plechu	[mm]
t_p	přípravný čas	[hod]
t_v	výrobní čas	[hod]
V_N	variabilní náklady	[Kč]
V_R	procentuální vyjádření výrobních režijních nákladů	[-]
v	střížná vůle	[mm]
v_{min}	minimální střížná vůle	[mm]
w	hodinová sazba	[Kč/hod]
x	velikost posunutí neutrální osy od původního průřezu	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
z_O	zhodnocení odpadu	[Kč]

α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ε_{tmax}	trvalá poměrná deformace	[-]
ε_{tmin}	kritická poměrná deformace	[-]
λ	součinitel plnosti diagramu	[-]
μ	součinitel bezpečnosti	[-]
ρ	poloměr neutrální plochy	[mm]
ρ_1	poloměr ohybu	[mm]
ρ_{OCEL}	hustota oceli	[kg/m ³]
σ_{dov}	dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_O	napětí v ohybu	[MPa]
τ	napětí ve stříhu	[MPa]
φ	úhel zkosení střížníku	[°]

